



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN
INGENIERÍA**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA DE REDISEÑO DE UN TRACTOR DE
BAJO COSTO**

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA
INGENIERÍA MECÁNICA- DISEÑO MECÁNICO

P R E S E N T A :

ROGELIO DARÍO GUTIÉRREZ CARRILLO



TUTOR:

Dr. Leopoldo Adrián González González

Ciudad Universitaria, México D.F.

AGOSTO 2009

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. Ángel Alfonso Rojas Salgado

Secretario: Dr. Alejandro Cuauhtémoc Ramírez Reivich

Vocal: Dr. Leopoldo Adrián González González

1^{er}. Suplente: Dr. Adrián Espinosa Bautista

2^{do}. Suplente: Dr. Francisco Cuenca Jiménez

Ciudad Universitaria, México D.F.

TUTOR DE TESIS:

Dr. Leopoldo Adrián González González

FIRMA

Agradecimientos y Dedicatorias

Dedico este trabajo como siempre a mi familia y a todas las personas que siguieron pensando en que podría lograrlo. Gracias por estar conmigo.

Gracias a ti papá, porque convertiste tu cansancio en mi energía.

Gracias a ti mamá, porque como dije antes el tipo de persona que soy es por ti; mira hasta donde me ha llevado tu amor.

Gracias a ti Dano por cuidarme cuando lo necesité y por estar siempre pendiente de mí.

Todo su cariño lo guardo en mí. Esto es por y para ustedes.

También dedico dedico este trabajo a mi familia grandotota que cada día crece mas y más: Toño, David, Beto, Yuy, Momo, Norma, Anita, Pépe, Ross, Is, Rosy, Totol, Güerito, Karen, Chata, Sr. Jorge, Yayis, Hector, Charo, Luce, Carol, Frida, Momín, Brenda, Ingrid, Karencita, Eder...son un chorro y los que faltan!

A los compas quienes vieron el comienzo de esta labor, quienes la sufrieron conmigo y porque no decirlo, siempre me fregaron para que la terminara: Mario, Horacio, Robin, Pollo, Epi, Chino, Martín, Higríd, Caro, Gina y Nadia. Especialmente a ti Luna, que me impulsaste desde el principio con tu cariño y amistad.

A ti Vania, porque tu amor me motiva a seguir adelante.

Por último dedico esto a tu memoria Gordito, ¡que lástima que no disfrutaste esto conmigo!

Roy

PROPUESTA DE REDISEÑO DE UN TRACTOR DE BAJO COSTO

Índice	I
---------------	---

CAPÍTULO I

Introducción

I.1 Rediseño	1
I.2 Objetivo principal	4

CAPITULO II

Fallas en tractores”

II.1 Tipos de tractores	6
II.2 Riesgos asociados al manejo del tractor	8
II.3 Situaciones de riesgo de vuelco	11
II.4 Medidas preventivas para evitar accidentes por vuelco	13
II.5 Seguridad dentro del tractor en caso de vuelco	17
II.6 Compactación del suelo	18

CAPÍTULO III

Estudio del tractor trineumático de bajo costo

III.1 Revisión del tractor	22
III.2 Información y planos del tractor trineumático.	25
III.3 Análisis estático del tractor trineumático.	28
	30

CAPÍTULO IV

Propuestas de rediseño

IV.1 Redistribución del peso	35
IV.1.1 Motor al frente	38
IV.1.2 Aumentar longitud x_T	39
IV.2 Aumento del área de arrastre	39
IV.3 Disminución de fuerza de arrastre (R_{Ax})	41
IV.4 Aumento de peso	42
IV.4.1 En el frente del tractor	42
IV.4.2 En el Centro de Gravedad	43
IV.5 Giroscopio	44

CAPÍTULO V

Evaluación de propuestas de rediseño

V.1 Redistribución del peso	51
V.1.2 Motor al frente	51
V.1.3 Aumentar longitud x_T	52
V.2 Aumento del área de arrastre	53
V.3 Disminución de fuerza de arrastre (R_{Ax})	53
V.4 Aumento de peso	54
V.4.1 En el frente del tractor	54
V.4.2 En el Centro de Gravedad	55
V.5 Giroscopio	55
V.6 Comparación de propuestas de rediseño	56

CAPÍTULO VI

Resultados y Conclusiones	59
----------------------------------	-----------

Apéndices

A1 Guía de Lastre 64

A2 Lista de Imágenes 65

A3 Lista de Tablas 67

Bibliografía 68

Referencias 69

Páginas de Internet consultadas 70

Nomenclatura 71

Prefacio.

Cuando se inició este trabajo, se tenía contemplado que el objetivo principal fuera ayudar a campesinos de escasos recursos a adquirir un pequeño tractor que ayudara en sus jornadas de trabajo que no representara una gran inversión. Esto conduce, visto desde la perspectiva técnica-tecnológica, a diseñar y fabricar un tractor con la suficiente potencia para arar la tierra con el menor costo posible, de ahí que muchos de los elementos que conforman al tractor sean disminuidos en su tamaño, función o bien eliminados. Lo anterior acarrea problemas en la labor agrícola porque se pierden aspectos como la comodidad o flexibilidad de trabajo, sin embargo es posible llevarlo a cabo si se realiza un estudio previo de los “pros y contras” de los nuevos diseños.

Buscando información sobre trabajos similares, se encontró alguna poca del tractor de tres ruedas fabricado como proyecto del Instituto de Ingeniería y la Facultad de Ingeniería el cual tenía por título “Tractor agrícola de Bajo Costo”. En él, se reunieron las mismas intenciones que con el trabajo presente, pero desafortunadamente el prototipo final tuvo fallas que no se contemplaron en su diseño. Como se contaba con algunas de las piezas de dicho prototipo, se pudieron obtener algunos datos útiles para comenzar a realizar el estudio y ello dio pie a involucrarse cada vez mas en el proyecto mencionado.

Por otro lado, se comenzó a tener contacto con personas que se dedican al cultivo de mango y papaya de una región perteneciente al Municipio de Cotaxtla, Veracruz. Ellas externaron su inquietud por un tractor con características sencillas para su forma de trabajar y su tipo de producto que estaban por debajo de las características de un tractor comercial, por lo que se pretendió en un principio diseñar bajo sus requerimientos.

Al tener suficiente información reunida, se evaluó la forma de estructurar la presente tesis y la conclusión a la que se llegó fue que se debía mejorar el prototipo del tractor de tres ruedas, pues él reunía casi todas las características que se pensó ayudarían a la gente de Cotaxtla y se utilizaría el modelo prototipo para realizar algunas pruebas. Desventuradamente se dejó de contar con el modelo físico por lo que el objetivo mudó nuevamente y tiene al día presente una distinta meta. Los capítulos siguientes son resultado de investigación de campo e investigación bibliográfica sin un modelo físico.

CAPÍTULO I

Introducción

I.1 REDISEÑO

El diseño de algún tipo de maquinaria, lleva varios procesos en los que se evalúan en diferentes tiempos necesidades que particularicen un problema dado. Cada autor propone su propio proceso, por lo que no se tiene nunca un camino recto a seguir, por ejemplo: *“el proceso de aplicar las diversas técnicas y los principios científicos con el objeto de definir un dispositivo, un proceso o un sistema con suficiente detalle para permitir su realización”* [Norton, 1998] por ello, lo recomendable es elegir para cada diseño su particular ruta de trabajo.

Enunciados más o menos, el proceso general de diseño se encuentra al día de hoy de la siguiente forma [Aguirre, 2005]:

1. Identificación del problema a investigar
2. Fundamentación del proyecto
3. Marco teórico conceptual
4. Investigación de diseño
5. Planteamiento de hipótesis
6. Ideas preliminares
7. Evaluación y selección
8. Diseño de detalle
9. Diseño de producto
10. Diseño de ensamble o armado

11. Diseño CAD - CAM
12. Fabricación de prototipo
13. El medio ambiente

En los últimos 2 enunciados, se propone la fabricación del prototipo y la evaluación de los efectos producidos al medio ambiente, y surge la pregunta, ¿Qué pasa si no funciona correctamente el prototipo?, ¿significa entonces que el proceso del diseño estuvo mal organizado? No necesariamente.

Ya que cada proceso es diferente, se toman en evaluación variables diferentes, por lo que a menudo es difícil ver deficiencias en el diseño, o mejor dicho en el proceso de diseño, por ello, la fabricación del prototipo es de suma importancia, porque de ahí se verán las fallas en dicho proceso, y por lo tanto se tendrá la oportunidad de corregirlas.

Entonces colocando los trece enunciados en bloques (figura 1.1), se ve la realimentación de la información.

En otras palabras, el trabajo que a continuación se presenta, está formado por propuestas de rediseño para disminuir las fallas del primer diseño del tractor trineumático.

Se busca que el diseño final del tractor trineumático que se proponga sea con nuevas características; que proporcione al usuario un ahorro considerable en la inversión inicial, además de que pueda resolver sus necesidades laborales en el terreno de trabajo.

Se ha notado que la adquisición de un tractor que ayude efectivamente a las jornadas de trabajo en las tierras de cultivo, es penosamente escasa, ya que el importe de una máquina/herramienta como ésta, es bastante elevado, considerando las condiciones en la que se encuentra el sector agrícola en México actualmente. En ése mismo sentido, la utilización de la tecnología en el sector rural es sumamente importante, ya que el mercado de productos agrícolas se ha ampliado enormemente y la competencia será más reñida año

tras año; por ello, deben tomarse mejores prácticas para lanzar productos de calidad y precios competentes¹.

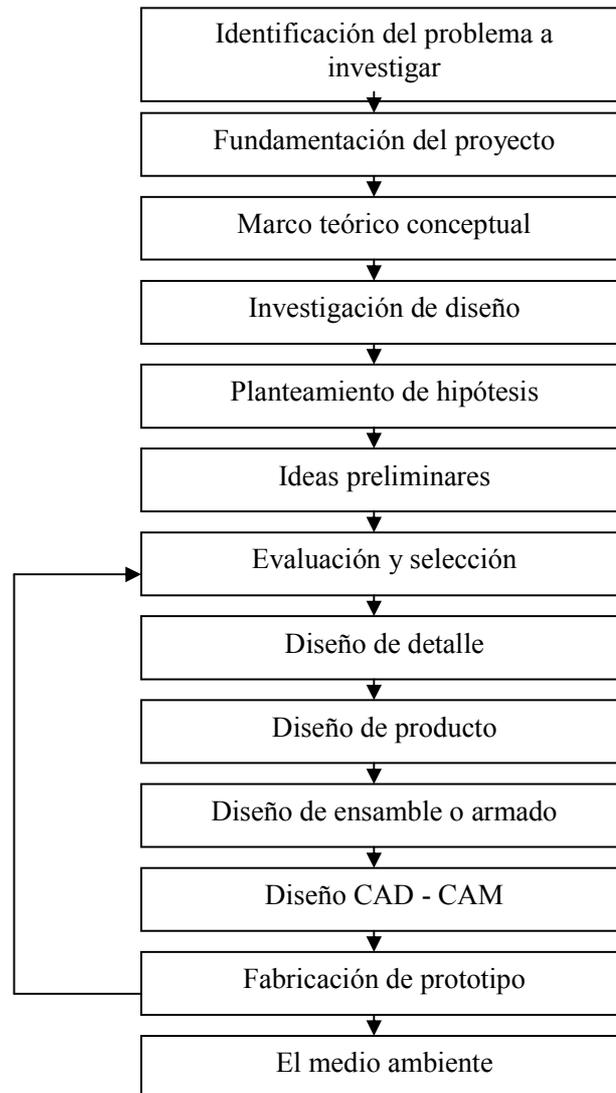


Figura 1.1 Proceso del diseño [Aguirre, 2005]

¹ “Programa Nacional de Mango” 2001

Para entender mejor el sentido de la última oración, cabe aclarar que la calidad de los productos agrícolas depende fundamentalmente de la selección de las semillas, el tipo de tierra de cultivo y el adecuado riego y fertilización. Por otro lado, los precios competentes dependen del tiempo de cosecha y la cantidad de mano de obra utilizada, y he aquí, el motivo por el cuál la propiedad de maquinaria agrícola juega un papel importante.

El desarrollo de este trabajo pretende satisfacer por un lado la necesidad del sector agrícola de pequeños productores, los cuales puedan utilizar la maquinaria necesaria en terrenos de no más de 3 hectáreas y que puedan tener un fácil mantenimiento de tales máquinas, por otro lado, la oportunidad de diseñar maquinaria con tecnología nacional para impulsar el desarrollo de empresas mexicanas dedicadas al sector y por último, retomar un trabajo² que surge con similares metas que el presente y que por alguna razón quedo trunco.

I.2 OBJETIVO PRINCIPAL

Analizar la estática y dinámica del tractor actual (al cuál se le llamará “Tractor trineumático” de aquí en adelante), para proponer soluciones que eviten el vuelco del mismo a fin de mejorar su diseño.

Así mismo, se pretende alcanzar en el rediseño las siguientes características.

- a) Estabilidad suficiente para no volcarse con desniveles de la tierra trabajada o con pequeñas laderas originadas por los canales de riego
- b) Protección para el operador.
- c) Peso suficiente para evitar saltos bruscos en terreno agresivo.

De esta manera, el trabajo a continuación se presenta de la siguiente forma.

²“ Todos los documentos relativos a dicho trabajo fueron extraviados, sin embargo se sabe que fue expuesto con el título de Diseño de un tractor agrícola de bajo costo” UNAM 1975

En el segundo capítulo se expone sobre los diferentes tipos de tractores y algunas de sus características, así como de los errores inherentes a ellos. Del estudio general del tractor tradicional, se entienden aspectos que parecen particulares del tractor trineumático, de ahí su relevante importancia. En el tercer capítulo, se describen las características del tractor trineumático, que es la base de donde parte este proyecto. Cabe mencionar que la información obtenida de dicho tractor no fue hallada de documentos escritos, sino que hubo que investigar entre testigos y/o participantes del proyecto mencionado. En el cuarto capítulo, se proponen algunas soluciones posibles al problema de vuelco, usando técnicas de diseño y la experiencia del autor; así como herramientas computacionales como sistemas de CAD para determinar rápidamente las soluciones aludidas.

En el quinto capítulo se discute sobre la mejor alternativa para la solución, nuevamente usando sistemas CAD, sistemas CAE y la experiencia del autor. Por último, en el sexto capítulo se proponen las mejores alternativas encontradas en el presente estudio.

CAPÍTULO II

Fallas en tractores

Para entender el problema es necesaria una investigación de dichas máquinas al día de hoy, no solo para solucionar el problema que compete a este trabajo, sino para ubicar los márgenes en donde se desenvolverá el resultado del mismo. El problema del vuelco en el tractor trineumático, no es particular de él, ocurre en todos los tipos de tractores cuando son sometidos a ciertas condiciones de trabajo, las cuales se describirán en líneas más adelante. Entonces, se comienza por las diferentes configuraciones de ellos, pasando por los factores de riesgo al manejar un tractor y se finaliza el capítulo por las fallas relativas a la compactación del suelo provocadas por el peso del tractor.

II.1 TIPOS DE TRACTORES

De entre todas las máquinas agrícolas, la que más peso le ha dado a la modernización de la agricultura ha sido el tractor agrícola, considerado como el medio auxiliar más importante de la mayoría de las actividades agrarias y como sustitución de la fuerza animal.

El tractor se podría definir como *"máquina automotriz con capacidad para remolcar, arrastrar y accionar otras máquinas"*[Diez, Carlos. 2001]. La primera gran división se hace en función de las características de su sistema de desplazamiento, distinguiéndose:

- ❖ Tractores de cadenas.

En lugar de emplear neumáticos para desplazarse emplean una cadena con eslabones y zapatas (figura 2.1). Ello les dota de una superior capacidad de tracción -a igualdad de potencia- mayor maniobrabilidad y estabilidad.

Poseen un peso adherente, sin embargo son mucho más lentos y debido a las características de su tren de rodaje no pueden desplazarse por caminos pavimentados.

Se emplean en trabajos especiales y dentro del ámbito forestal.

❖ Tractores de neumáticos (Figura 2.2).

Dentro de éstos se pueden establecer tipos diferentes:

▪ Tractores agrícolas típicos:

Tractores rígidos con dos ejes con distinto diámetro de rueda. Potencia no superior a 300 HP. Pueden ser traccionados a un solo eje (2 x 4) o a ambos (4x4).

▪ Tractores estrechos (fruteros o de viñedo):

Tractores de pequeña dimensión para permitir su tránsito por las calles de cultivos leñosos, como frutales o viñas. De acuerdo con las Directivas Comunitarias 86/298 y 87/402 de Navarra, España; [Márquez, 1984] tienen una distancia libre al suelo inferior a 600 mm, y una anchura máxima de 1.150 mm.

▪ Tractores articulados: Tractores de elevada potencia con bastidor no rígido para incrementar su maniobrabilidad. Característicos de grandes explotaciones, y poco frecuentes en México.

▪ Otros: Engloba distintos tipos de tractores menos frecuentes que los anteriores, que presentan peculiaridades, tanto en relación a los riesgos que se derivan de su empleo.

▪ Skidder: Tractores con todas las ruedas iguales. Tracción en ambos ejes, o incluso con tracción independiente en cada rueda. Aparte de la configuración normal 4 x 4, existen 6 x 6 e incluso 8 x 8, en cuyo caso se trata de tractores articulados (Figura 2.5).

▪ Tractores zancudos. Distancia libre al suelo superior a 1.000 mm. Uso restringido a cultivos específicos como el arroz.



Figura 2.1 Tractor de cadena



Figura 2.2 Tractor de ruedas

II.2 RIESGOS ASOCIADOS AL MANEJO DEL TRACTOR

Otro de los problemas de los tractores, fuera del diseño mecánico, es el error al conducirlos ya que debe hacerse siempre de una manera apropiada tratando siempre de evitar la sobre explotación de la máquina.

EL VUELCO DEL TRACTOR

a). Vuelco lateral

El vuelco lateral se presenta en casi el 90% de los casos de vuelco. (Figura 2.3)



Figura 2.3 Vuelco lateral de un tractor

Se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones [Boussinet, 1989]

- A mayor pendiente, más facilidad de vuelco.
- Cuanta más separación entre ruedas tenga el tractor, más difícil será el vuelco.
- Cuanto más bajo tenga el centro de gravedad un tractor, más difícil será el vuelco.
- Cuando se lastra con contrapesos el tractor, más bajo será su centro de gravedad, y por tanto, más difícil el vuelco

b). Vuelco hacia atrás (“empinamiento” o “encabritamiento”)

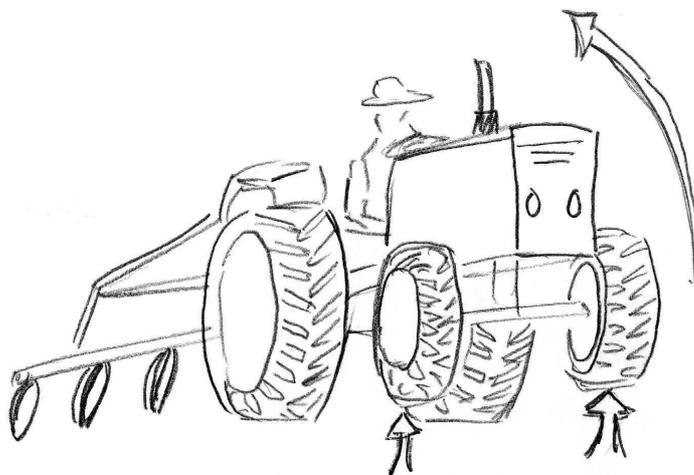


Figura 2.4 El tractor gira alrededor de las ruedas traseras debido al exceso de carga

Es un accidente mucho menos frecuente que el vuelco lateral (figura 2.4). Sin embargo, el encabritamiento deriva en vuelco lateral debido a la mayor longitud entre los ejes delantero y trasero contra la menor longitud entre las ruedas derecha e izquierda en el plano frontal.

c). Vuelco con aperos²

Se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Cuanto más bajo tenga el tractor el centro de gravedad, más estable será frente al vuelco longitudinal.
- Cuanto más adelantado tenga el centro de gravedad, más seguro. Por tanto, en trabajos en pendiente convendrá colocar los contrapesos delanteros.
- Cuanto más peso posea un apero más riesgo de vuelco hacia atrás.
- Cuanto más profunda desarrolle la labor, mayor riesgo de vuelco hacia atrás.
- Cuanto más alto esté enganchado el apero, más riesgo de vuelco.

d). Vuelco con tractor en movimiento

En los procesos de vuelco con el tractor en movimiento se añaden dos elementos a los ya citados. El deslizamiento y la fuerza de inercia.

Se ha de tener en cuenta que:

- Las condiciones de estabilidad disminuyen de manera significativa cuando una máquina está en movimiento. A modo de ejemplo cabe citar que en condiciones de

² Apero: Cualquier elemento unido o acoplado al tractor.

laboratorio los tractores agrícolas típicos de más de 6.000 Kg soportan un desnivel estático de, al menos, el 60%. Sin embargo, el mismo modelo en condiciones de trabajo puede volcar con pendientes de tan solo el 20%.³

- A igualdad de condiciones, a mayor velocidad, mayor riesgo de vuelco, tanto lateral como hacia atrás.
- A mayor rugosidad del terreno, y mejor agarre del sistema de rodaje, mayor estabilidad y menor riesgo de vuelco.
- A mayor número de puntos de tracción, mayor estabilidad. Por eso, un tractor trabajará siempre más seguro en ladera con las tracciones conectadas.

II.3 SITUACIONES DE RIESGO DE VUELCO

El trabajo al cual están destinados a realizar los distintos tipos de tractores, también influye en la estabilidad de los mismos.

a) Factores asociados al tractor

El tipo de tractor. Por ejemplo, el tractor frutero tiene mayor riesgo de vuelco que el tractor agrícola típico, éste más que el Skidder, y éste más que el tractor oruga.⁴

b) Factores asociados a la pendiente hacia arriba

El peso y/o la demanda de fuerza de tracción por parte del apero son desproporcionadas a las características del tractor.

- El vehículo de tracción anda muy justo, por lo que no puede trabajar por líneas de máxima pendiente y el tractorista tiende a engañar la labor de trabajo con diagonales.

³ El tractor agrícola. Instituto Navarro de salud Laboral.

⁴ Por las características propias del tractor frutero, debidas a las dimensiones angostas, es el de mayor probabilidad de volteo. El diseño resultante de este trabajo, deberá modificar esa condición.

- La combinación del peso del apero con la pendiente hacen que el tractor se salga de la rodada que intentaba seguir el tractorista.
- Se pierde el control del conjunto y con mucha probabilidad, se termina volcando.

c) Factores asociados a la pendiente hacia abajo

El tractorista baja la ladera por líneas de máxima pendiente (de arriba abajo) remolcando carga desproporcionada al binomio peso-potencia del tractor.

- El vehículo va incrementando su velocidad sin que el sistema de frenado sea lo suficientemente potente para evitarlo.
- El apero, en especial el remolque, hace la tijera, con pérdida de control y vuelco.

Asimismo, portando herramientas en ladera los accionamientos repentinos del embrague pueden provocar el vuelco del vehículo.



Figura 2.5 Skidder de tracción 4x4, es el más común, aunque existen también articulados

*ASOCIADOS AL TAJO*⁵**a) La pendiente**

A mayor pendiente, mayor riesgo de vuelco.

Por encima del 20% el riesgo de vuelco en trabajos por curva de nivel es muy elevado para los tractores agrícolas. Por encima del 45% el riesgo de deslizamiento, pérdida de control y vuelco es muy elevado para los tractores agrícolas trabajando por líneas de máxima pendiente.⁶

Bordes y lindes: Los accidentes topográficos que circunvalan la parcela o las irregularidades existentes en el seno de la misma, son agentes causantes de un elevado porcentaje de vuelcos. Hay que tener en cuenta lo siguiente:

Zanjas y orillas pueden presentar un abundante recubrimiento de vegetación que impide observar las características del suelo en sus linderos, pudiendo ocultar irregularidades y huecos.

b) La forma de la parcela.

Cuanto más irregular sea una parcela mayor riesgo de vuelco existe.

En situaciones de trabajo límite, pequeñas irregularidades como trancos o piedras pueden generar accidentes por vuelco.

Las parcelas de morfología convexa son más peligrosas que las cóncavas para los trabajos por curvas de nivel.

⁵ Se entiende por tajo el conjunto de características que definen la labor, o sea, la interacción entre la parcela (su pendiente, sinuosidad, pedregosidad, tipo de suelo) y el cultivo que soporta (tipo, vigor, estado fenológico...)

⁶ El Tractor Agrícola, Instituto Navarro de salud Laboral.

Cuanto más húmedo esté el suelo, menor adherencia, menor control sobre el vehículo y mayor riesgo de vuelco.

A mayor recubrimiento del suelo por el cultivo, más riesgo de vuelco.

II.4 MEDIDAS PREVENTIVAS PARA EVITAR ACCIDENTES POR VUELCO

La preocupación del riesgo de vuelco del tractor trineumático no es exclusiva del que escribe, el vuelco existe casi en todos los tipos de tractores y los siguientes párrafos son producto de las acciones que se toman hoy en día para evitar este defecto.

a) El tractor y el conductor

- Todas las personas que suban a un tractor deben poseer un nivel de conocimientos y de experiencia suficientes y acordes con la dificultad de la labor a desarrollar.
- Para los jóvenes agricultores es recomendable que inicien su formación con la ayuda de alguien con experiencia, profesionalismo y sentido común. Sólo un tractorista calificado puede enseñar los trabajos de la explotación, empezando por los más sencillos y las áreas más fáciles, e incrementando posteriormente la dificultad.
- El tractorista debe conocer el modelo de tractor y apero que va a emplear, sus peculiaridades y posibilidades. La mejor manera es a través de la lectura detallada de los correspondientes manuales de instrucciones.

b) El tractor y el apero

- En los modelos con doble freno, se debe colocar el sistema de pedales de tal forma que ambos frenos trabajen simultánea y solidariamente.
- Se debe tener siempre la garantía de que la máquina de trabajo está en perfectas condiciones.
- Se deben efectuar las operaciones de mantenimiento y las revisiones rutinarias respetando los tiempos recomendados por el fabricante en los manuales.

- El equipo de aperos debe ser proporcional a la capacidad del tractor.
- Los vehículos con contrapesos son más seguros.
- En acciones de laboreo, no se debe profundizar en exceso.
- Cuando se remolcan y/o arrastran aperos por líneas de máxima pendiente, se deberá tener la certeza de que el tractor posee la potencia y peso suficientes para desarrollar el trabajo con holgura.
- En los modelos con embrague tradicional, se debe efectuar el cambio de marcha suave y progresivamente, evitando brusquedades en el manejo del embrague que podrían producir el encabritamiento de la máquina.
- En los modelos con cambio automático, se debe acelerar suavemente tras el accionamiento del cambio.
- Extremar la precaución cuando se cambia la anchura de eje o de rueda para trabajos especiales (por ejemplo al trabajar después de comenzada la Primavera). El tractor responderá de forma significativamente distinta y será mucho menos estable.
- Los trabajos de extracción de madera deben estar limitados a los tractores de cadenas y skidders.
- Desde el punto de vista de la seguridad, los tractores grandes son más seguros que los pequeños.
- Los tractores estrechos son siempre mucho menos estables que el resto de tractores agrícolas, por lo que es preciso extremar las precauciones en su manejo.
- El estado de los neumáticos es muy importante para la seguridad y la economía. Con neumáticos gastados se está perdiendo capacidad de tracción y asumiendo riesgos innecesarios.
- Cuando en el desarrollo de la labor surge algún imprevisto, se debe colocar el tractor sobre terreno llano, conviene bajar el hidráulico (aunque tenga el apero ensamblado) hasta el suelo, se debe frenar el tractor (freno de mano incluido), marcha en sentido

contrario a la pendiente y apagar el motor. Cuando se haya efectuado dicha rutina es cuando el tractorista puede ir a comprobar que ha sucedido

c) La brecha

- Cada campo de la explotación es diferente y presenta sus peculiaridades. La obligación del tractorista profesional es conocer la totalidad de su explotación con tanto detalle como sea posible, en especial las áreas de mayor peligro potencial y saber cómo afrontarlas.

- No existen dos brechas iguales.

- Ninguna brecha está exento de riesgo.

- Nunca alguien sin experiencia trabaja en solitario en áreas de ladera.

- Es imposible conocer cuál es la pendiente máxima que puede superar un tractor con un equipo concreto. Por tanto, jamás se deben apurar, ni las máquinas ni los tajos.

- En trabajos en ladera se deben colocar los contrapesos delanteros, y enganchar el apero en su posición más baja.

- Se debe extremar la precaución en zanjas, de manera especial en los trabajos por curvas de nivel.

- Se debe guardar una distancia de seguridad de al menos 1 m hasta los límites del campo y los cambios bruscos de nivel.

- El terreno cambia y evoluciona. Que un suelo parezca firme no implica que lo sea. El suelo que un día presenta firmeza no garantiza que lo sea al siguiente.

- Se deben extremar las precauciones en los casos de atasco en el barro

- Evitar las calzas provisionales: lo inestable del terreno unido al peso del tractor y apero justifican que puedan fallar en cualquier momento.

- Desenganchar el apero.

- Emplear otro tractor de potencia suficiente para remolcar al que se ha atascado.
 - Siempre que sea posible, tratar de sacar el vehículo atascado marcha atrás.
 - Si se emplea otro tractor para sacar al que está atascado usando cadenas o cables, ninguna persona se debe situar entre ambos vehículos, debido a que el elemento de tracción (cadena) va a estar en tensión, y en caso de ruptura tendrá efecto látigo.
 - Se debe calcular que el elemento de tracción tenga grosor suficiente.
 - Las cadenas, por su mayor peso, son más seguras que los cables y las cuerdas.
- A igualdad de circunstancias, el trabajo por curvas de nivel siempre es más peligroso que el trabajo por líneas de máxima pendiente.
 - En trabajos por curvas de nivel, se debe trabajar siempre con el apero situado por el lado superior del tractor (Figura 2.6).

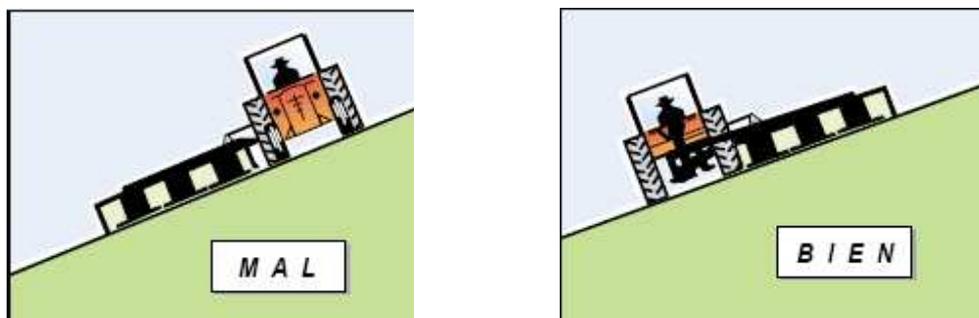


Figura 2.6 Posiciones correctas e incorrectas de colocar el apero a un tractor

- Bajo condiciones de rocío, o tras una lluvia reciente, se deben efectuar los cambios de sentido en marcha muy corta y a velocidad mínima, independientemente del tipo de tractor.

II.5 SEGURIDAD DENTRO DEL TRACTOR EN CASO DE VUELCO

Las acciones para evitar los accidentes también las realizan algunas empresas y las organizaciones civiles agrónomas en todo el mundo emiten algunas disposiciones:

- Todos los tractores nuevos de más de 600 kg deben disponer de Bastidores, (Figura 2.7) o cabinas antivuelco certificadas (Figura 2.8).
- Tan peligrosos como los tractores sin cabina o bastidor, son aquéllos que poseen una cabina para protección de la intemperie, cuyas características estructurales son totalmente insuficientes para proteger al conductor en caso de vuelco, e incluso, pueden impedir su escape. Es preciso instalarles un modelo homologado de cabina o bastidor.



Figura 2.7 Bastidor de tractor

Figura 2.8 Cabina certificada de tractor

II.6 COMPACTACIÓN DEL SUELO

Para un exitoso crecimiento de las plantas sembradas en determinada región, se debe contar con un adecuado sistema de riego y sol. Para ello cada tipo de producto se siembra en la época adecuada para recibir la cantidad necesaria de humedad y luz. Además de lo anterior, se necesita que también la tierra donde se esta plantando cuente con nutrientes que fortalezcan a la planta.

Elementos esenciales para el desarrollo vegetal [Schuler, Ronald. 2008]:

C-H-O-N-P-K-Ca-Mg-S → Macronutrientes

Fe-Mn-B-Mo-Cu-Zn-Cl → Micronutrientes

La compactación del suelo suele ser un problema por evitar oxigenamiento de la tierra; esto provoca que los microorganismos aeróbicos no se reproduzcan y dejen de enriquecer a la tierra en si y esto a su vez, que la producción agrónoma no sea la deseada (Figura 2.9). Las causas son una combinación de excesivo tráfico de vehículos en el área, demasiada labranza y precipitación. Los tipos de compactación son: Superficial y Subterránea.



Figura 2.9 Condiciones de compactación del suelo vs crecimiento de la flora

¿Como se sabe que un suelo es o no compacto? La manera correcta implica realizar estudios con muestras del terreno para ver formas de microorganismos presentes y tipo de

tierra, pero un modo sencillo es comparar volúmenes de suelo, agua y aire como se muestra en la figura 2. 10.

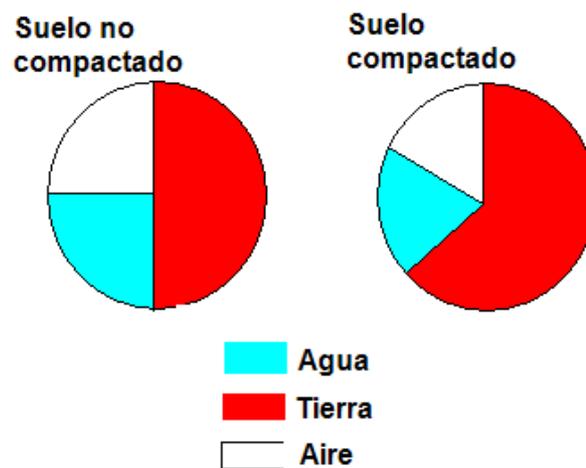


Figura 2.10 Condiciones de volumen entre suelos compactos y no compactos.

Aspectos del tractor relacionados con la compactación del suelo.

Básicamente se pueden manipular dos aspectos para evitar la compactación:

1. Respecto a las ruedas

- **Tamaño:** Depende del tamaño de las ruedas la superficie de contacto entre la llantas y el suelo, entre mayor sea el diámetro y/o el ancho de la misma, mayor el área de contacto y por lo tanto la presión sobre el suelo disminuye a medida que el área aumenta.
- **Presión de inflado:** La presión en el neumático obliga a que la presión también se reparta mas uniformemente sobre el suelo, sin embargo se debe tener cuidado con no perder la tracción.

- Diseño de la rueda, radial contra diagonal: El dibujo de la llanta se elige en función de la presión con la que trabaja el neumático. Si se utiliza un diseño radial se puede trabajar con un rango alto de presiones. Lo contrario sucede con el diseño diagonal. Con este diseño se busca que la llanta trabaje con bajar presiones o con sobrecarga del tractor.

2. Respecto a la Maquinaria

- Evitar suelo húmedo: Siempre que sea posible, se debe trabajar en suelos con la adecuada hidratación, ello favorecerá que el esfuerzo sufrido en el suelo sea repartido a una mayor área (y con ello evitar la compactación) sin descuidar la tracción transmitida por las ruedas.
- Alineación de las ruedas: El tractor trabaja con aperos de diferentes formas y usos, por ello, siempre debe asegurarse que las ruedas sobre las que viaja el apero pasen por la misma pisada que las del tractor.
- Selección de la maquinaria: Depende del producto agrícola con el que se trabaja elegir al apero conveniente. Existen variadas configuraciones de los aperos y una amplia gama de tamaños. Entonces es un aspecto que se debe tener en cuenta en la compactación porque según la capacidad del apero se precisa un número correspondiente de veces que debe pasar por determinado lugar el tractor.
- Peso de la maquinaria: La misma razón que el punto anterior.

Hasta aquí se contempló un esquema general de los tractores, los errores de construcción y diseño de ellos y las acciones que se toman para solucionarlos. En el siguiente capítulo se plantea la situación actual del tractor trineumático, para posteriormente, exponer las posibles soluciones de su inestabilidad.

CAPITULO III

Estudio del Tractor Trineumático de Bajo Costo

En este capítulo se presentan los antecedentes del tractor trineumático¹, para conocer el trabajo realizado y contar con un punto de partida hacia las nuevas propuestas.

III.1 REVISIÓN DEL TRACTOR

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, la transmisión queda solo con dos velocidades hacia delante y una en reversa. La caja de velocidades se distingue por carecer de flechas estriadas y engranes deslizantes sobre su eje de rotación, nuevamente comparadas con los usados en cajas convencionales. En su lugar, se emplean engranes que se desplazan en su propio plano y enlazan radialmente como se puede apreciar en la figura 3.1.

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.

¹ "Diseño de un tractor agrícola de bajo costo" Manuel Aguirre y Alberto Camacho UNAM, 1975

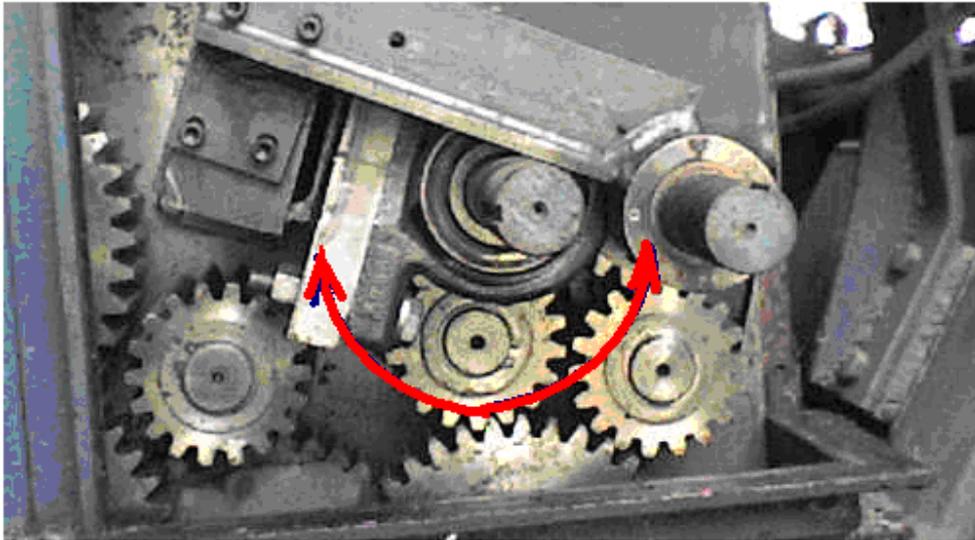


Figura 3.1. La caja de velocidades trabaja en un solo plano con engranes deslizantes

El mecanismo de la dirección utiliza una reducción de cadena del volante a las ruedas delanteras. El tractor está equipado con un freno de disco que opera sobre la flecha de salida de la caja de velocidades. También se incluyó un mecanismo de levante de los implementos con un accionador hidráulico, operado manualmente mediante una bomba de piston. Para las partes estructurales se utilizaron primordialmente perfiles comerciales PTR de 4x4x1/4 in El conjunto se muestra en la figura 3.2.

La fuerza motriz la proporciona un motor de gasolina de cuatro tiempos encendido por cran, de 18 HP a 3400 RPM, con el que se obtienen velocidades de 2.2 y 7.9 Km/h hacia delante y 2.2 Km/h en reversa”²

² “Del prototipo a la fabricación de un tractor agrícola desarrollado en los laboratorios de la UNAM.”, 1976



Figura 3.2. Vista lateral derecha del tractor trineumático

Al parecer de personas cercanas al diseño y construcción de este prototipo, el problema radica en que su configuración no es estable, por lo que al momento de trabajar con él, se voltea de alguna manera que hasta el momento se desconoce, pero que por la descripción de las mismas personas, se asemeja primero, al encabritamiento y posteriormente al volteo lateral. La solución que se aplicó por los constructores con las cuales se trató de resolver el problema, consistieron en agregar contrapesos, aunque esta solución no evito el volteo.

III.2 INFORMACIÓN Y PLANOS DEL TRACTOR TRINEUMÁTICO

Uno de los aspectos más importantes en este proyecto, fue que se utilizó una potencia en el motor del orden de 18 HP, lo que disminuyó en gran medida el precio de compra, sin embargo también se provocó con esto, que el torque en la rueda motriz disminuyera.

El reto al que se enfrentó el equipo que desarrolló este tractor fue el diseñar y construir una caja de velocidades que trabajara con esa potencia y pudiera desempeñar las funciones de un tractor comercial, lo que inició una serie de investigaciones y diseños, que dieron por resultado una caja que utiliza solo un tren de engranes compuesto de dientes rectos en un plano, lo que abarata precios de manufactura y elimina el uso de sincronizadores y flechas estriadas (Figura 3.3).



Figura 3.3. Tren compuesto de engranes rectos

Los engranes están fabricados en acero AISI 1040, y se les aplicó un tratamiento térmico de temple en aceite para darle una mayor resistencia al desgaste y a la corrosión. Para que

desarrollara una mejor eficiencia, todo el conjunto se encapsuló dentro de una caja con fluido lubricante.

Si se considera que la caja de velocidades se puede modelar dinámicamente como una caja maciza; se puede decir que aporta unos 250 [kg] a la masa total del tractor según los volúmenes de cada uno de los engranes que la forman, la placa sobre la que están montados, las flechas y rodamientos. Tomando en cuenta la densidad del acero que corresponde a 7800 [kg/m³] [Vable, 2003].

Como se menciona al principio de este trabajo³ es importante indicar que es casi nula la información documental que se tiene del tractor, sin embargo se pudieron encontrar en fotocopias, planos del prototipo original. Se debe aclarar que el diseño mostrado en las figuras 3.4 y 3.5 difieren un poco del prototipo construido, aunque no deja de ser de utilidad para obtener información.

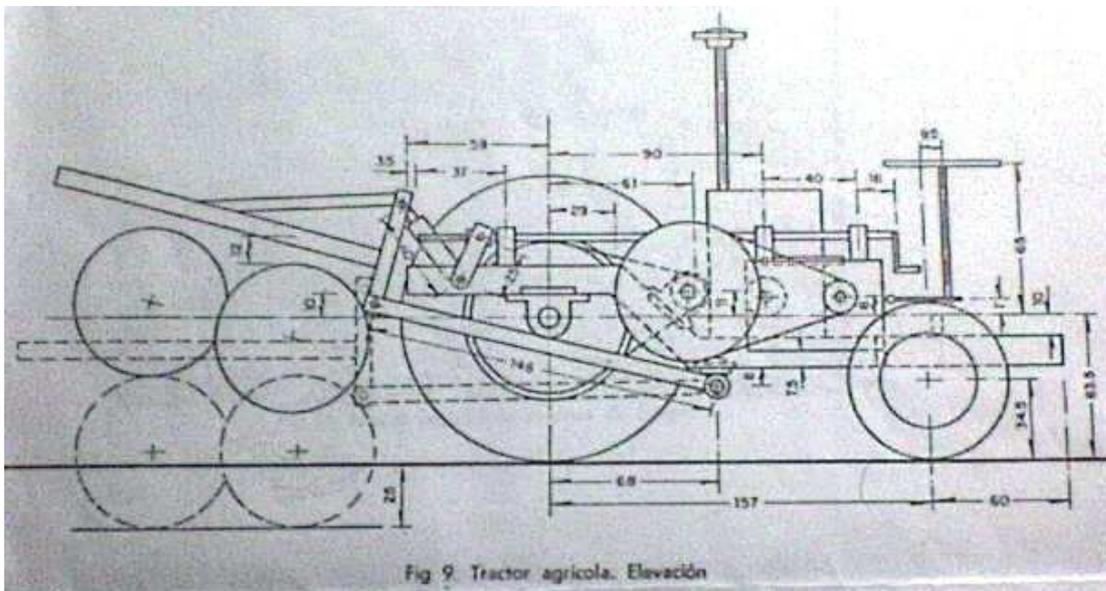


Figura 3.4 Plano del tractor trineumático, vista de elevación

³ Capítulo I. Introducción.

En el plano de vista lateral del tractor trineumático (Figura 3.4) se puede apreciar que el diseño contaba con un arreglo de tres catarinas y dos cadenas para transmitir la potencia de la caja de velocidades a la rueda trasera. A diferencia del modelo construido en donde se aprecia que solo contó con un par de catarinas y una cadena para hacer la misma función (figura 3.2).

En el plano de vista superior del tractor trineumático (Figura 3.5) se observa que estuvo contemplado que un par de discos situados a la misma distancia del eje longitudinal formarían al sistema de rastras, aunque en realidad, el prototipo construido presenta un par de discos cargados en el mismo lado. En otras palabras, si el plano mostrado en la figura 3.5 correspondiera al modelo construido, mostrado en la figura 3.2 se podrían ver que los discos que forman a las rastras estarían colocados ambos, en la esquina inferior izquierda del plano de la figura 3.5 y no al centro del mismo plano.

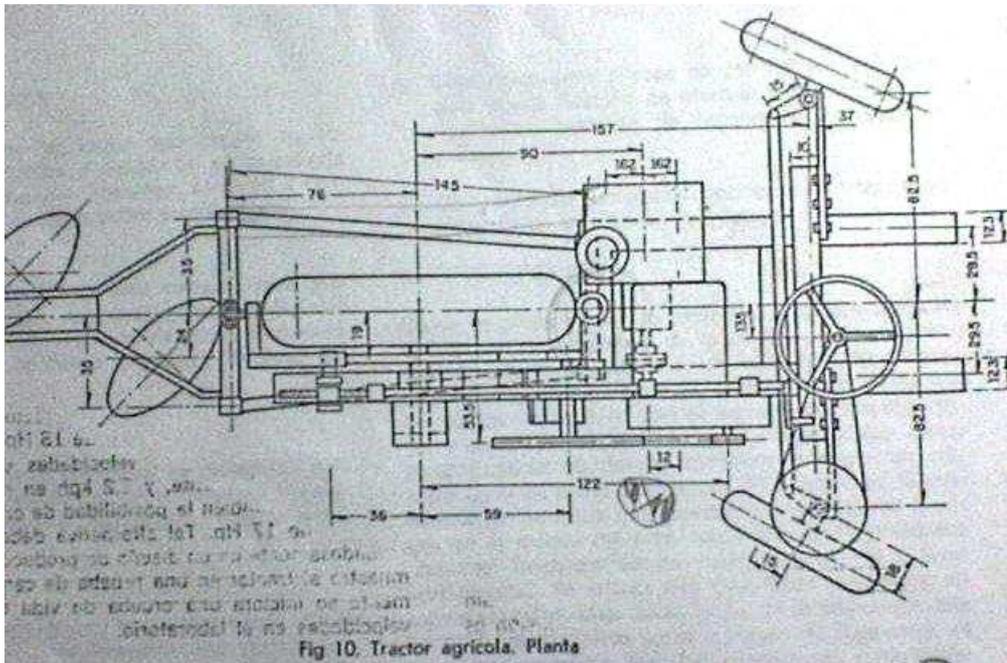


Figura 3.5 Plano del tractor trineumático, vista de planta

Utilizando dichos planos se obtienen dibujos en un software de CAD para tener un modelo virtual.

III.3 ANÁLISIS ESTÁTICO DEL TRACTOR TRINEUMÁTICO.

A continuación se presenta el análisis estático para determinar las coordenadas del centro de gravedad del tractor trineumático en el plano X-Y(plano horizontal), para confirmar que dicho punto provoca el volteo lateral.

Para determinar las coordenadas del centro de gravedad, se propuso un esquema como el mostrado en la figura 3.6, en donde los puntos A, B y C representan las reacciones que presentan los puntos en donde las llantas del tractor tocan al suelo.

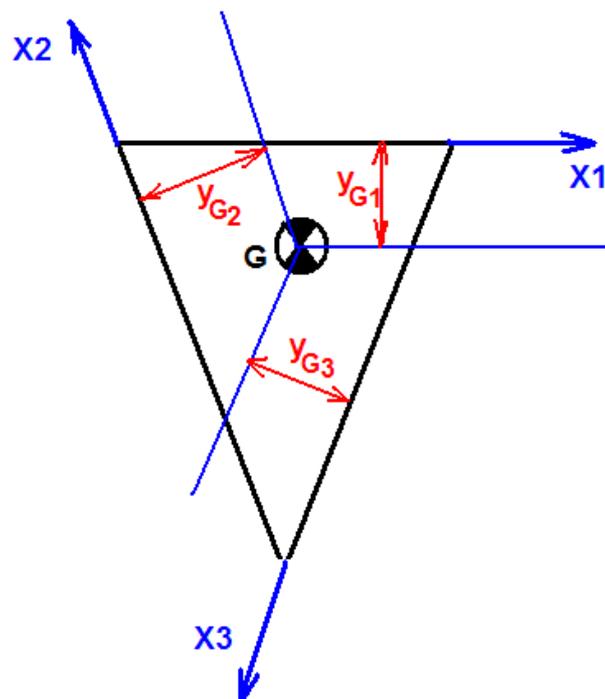


Imagen 2.6 Ubicación de los ejes y distancias tomadas a ellos del centro de gravedad

Como el tractor no se desplaza verticalmente, se tiene:

$$\sum F_z = 0$$

$$F_A + F_B + F_C - mg = 0 \tag{3.1}$$

Donde F_A , F_B y F_C representan a las reacciones del suelo en contacto con las ruedas y mg representa al peso total del tractor trineumático .

Como una sola ecuación no es suficiente para determinar las variables de fuerza y distancias al centro de gravedad de las reacciones, entonces se proponen sumatorias de momentos alrededor de los ejes X_1 , X_2 y X_3 para eliminar las reacciones en cada uno de los puntos A, B y C. Para ello será más fácil ver el croquis en forma tridimensional mostrado en la figura 3.7

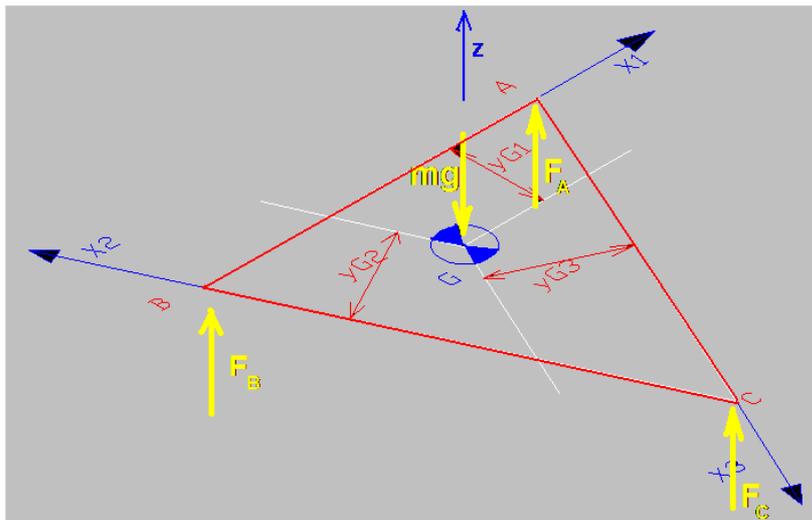


Figura 3.7 Croquis tridimensional de las reacciones en las ruedas del tractor trineumático.

Las sumas de momentos quedan (Ecuaciones 3.2 a la 3.4):

$$\sum M_{x1} = 0$$

$$-F_C(-y_{C1}) + mg(-y_{G1}) = 0 \tag{3.2}$$

$$\begin{aligned} \sum M_{X2} &= 0 \\ -F_A(-y_{A2}) + mg(-y_{G2}) &= 0 \end{aligned} \quad (3.3)$$

$$\begin{aligned} \sum M_{X3} &= 0 \\ -F_B(-y_{B3}) + mg(-y_{G3}) &= 0 \end{aligned} \quad (3.4)$$

Las variables y_{C1} , y_{A2} , y_{B3} son las longitudes entre los ejes **X1**, **X2**, **X3** y los puntos de reacción C, A, B respectivamente, por lo que si se tienen las coordenadas de los puntos A, B, C será fácil encontrar dichas longitudes. Por otro lado, las reacciones F_A , F_B y F_C serán determinadas por básculas independientes en cada una de las ruedas. Y por último, el peso mg , total del tractor es la suma de todas las reacciones F , entonces de las ecuaciones 3.2, 3.3 y 3.4 las variables desconocidas son y_{G1} , y_{G2} , y_{G3} respectivamente por lo que el análisis se reduce a sustituir las demás variables para encontrar las coordenadas del centro de gravedad G.

Con ayuda del DCL mostrado en la figura 3.7 se observan las reacciones en las ruedas versus el peso del tractor. Como las variables independientes son las coordenadas del CG ⁴ básicamente los momentos y fuerzas que provocan el volteo y encabritamiento del tractor trineumático se pueden determinar al multiplicar por las distancias entre los puntos de inserción en el suelo de las rastras hacia el eje de rotación del la rueda motriz del tractor (rueda trasera) y la distancia de este mismo eje hasta el CG.

III.4 MODELO VIRTUAL.

El modelo virtual también se utiliza como una herramienta para saber en que coordenadas se encuentra el centro de gravedad. Para obtenerlo, se dibujan todas las piezas que conforman al tractor en un software de CAD y después se fabrica la memoria de cálculo de la masa del total del ensamble.

⁴ Siglas del Centro de Gravedad.

En dicho modelo, propiedades del material, dimensiones, y fuerzas externas son modeladas a fin de obtener las ubicaciones de los centros de masa, centroides y momentos y productos de inercia para, representar a su vez a los pares de fuerzas que provocan el volteo lateral y encabritamiento del tractor.

Auxiliándose de fotografías (figura 3.8) del tractor trineumático, y comparando distancias, se comenzó a modelar el chasis, (figura 3.9), y accesorios (figura 3.10) que conforman al cuerpo.

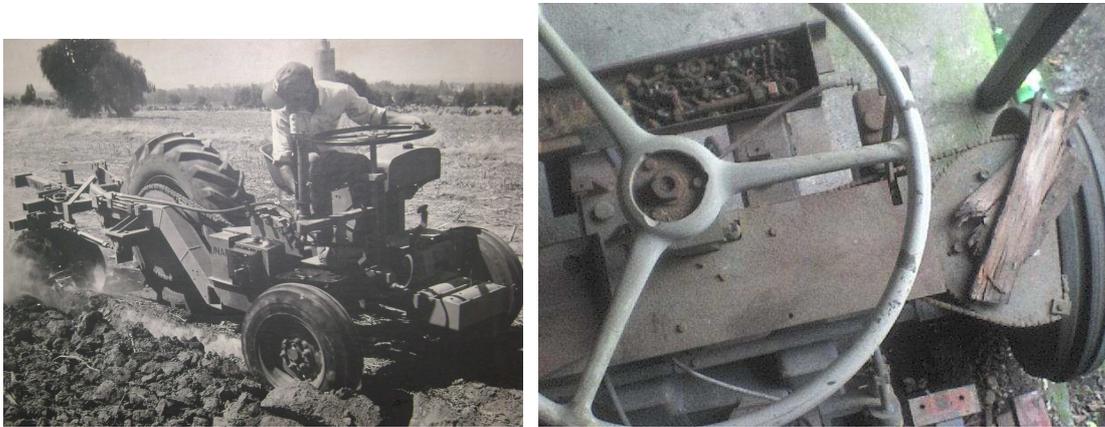


Figura 3.8 Fotografías del tractor trineumático

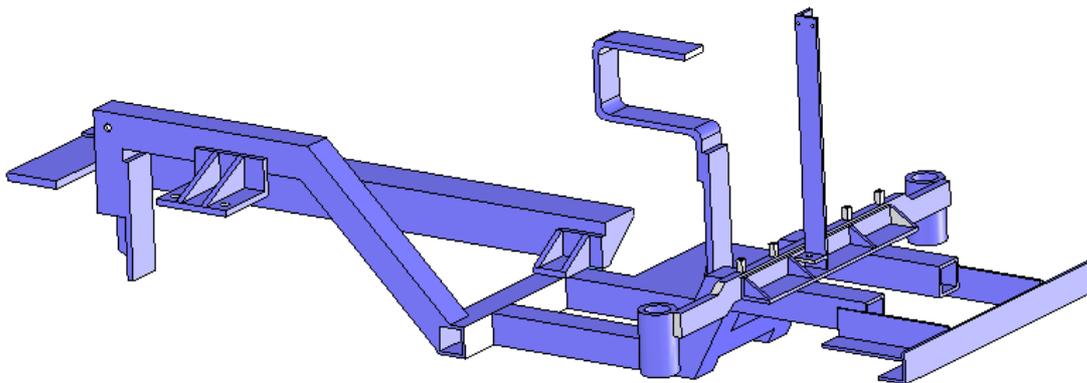


Figura 3.9 Chasis del tractor trineumático

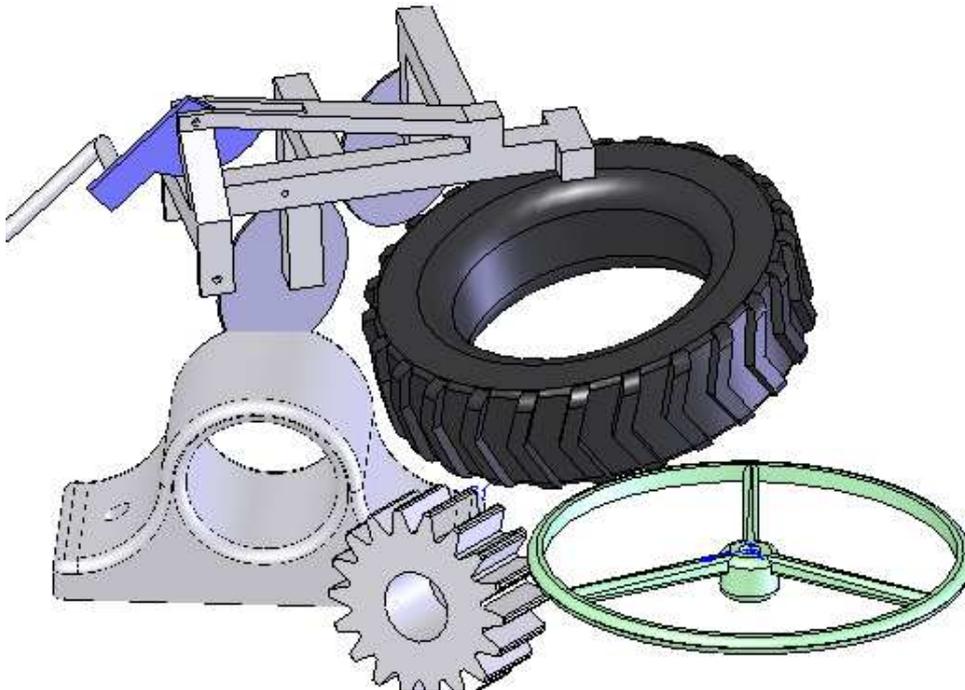


Figura 3.10 Algunos accesorios del chasis.

Como se mencionó en líneas anteriores, se determinan las coordenadas de los centros de masa de cada una de las piezas, para que en el ensamble (figura 3.12) se determine su respectivo centro de masa como un cuerpo único. La tabla que contiene esta información, se muestra en la figura 3.11, que corresponde a las propiedades de material del chasis.

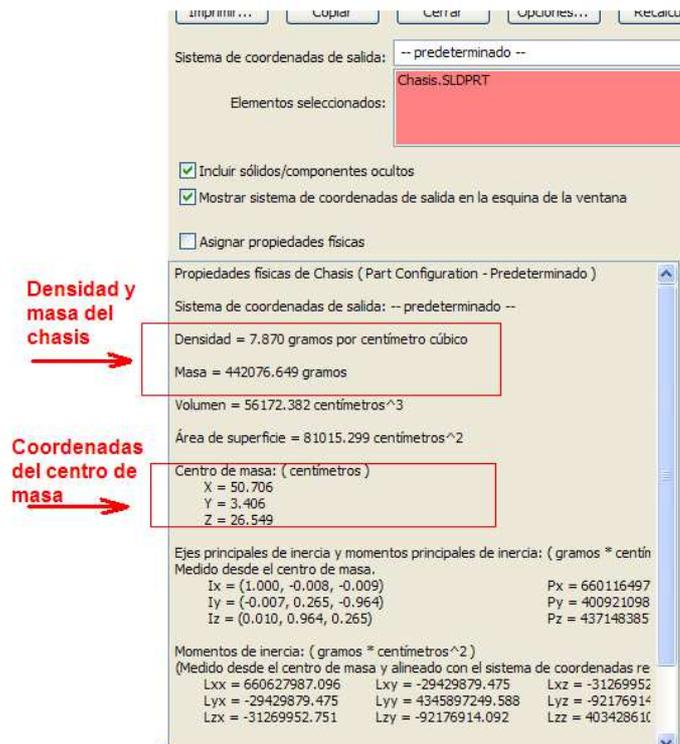


Figura 3.11 Propiedades físicas del chasis

Entonces, el modelo virtual totalmente ensamblado se muestra en la figura 3.12, y en la figura 3.13 se muestra su tabla de propiedades físicas correspondiente. Nótese que en dicha tabla se encuentra que el modelo construido real, debió haber tenido una masa de alrededor de 1.2 toneladas y el centro de gravedad⁵ se debió localizar al costado derecho de la rueda trasera, representado por un sistema de referencia en color morado y los números que presentan las coordenadas **X,Y,Z** son los valores medidos desde el punto donde se comenzó a modelar el chasis, por lo tanto dichos valores son relativos respecto de cada modelo diferente. Lo que se debe resaltar es la ubicación del centro de gravedad respecto del eje longitudinal que se supone debe dividir en dos al tractor trineumático; en un lado derecho y en otro izquierdo. Y desde ese eje, medir la longitud hacia el CG para multiplicar ese valor por el peso del tractor y así determinar el valor del momento que provoca el vuelco lateral.

⁵ La diferencia entre centro de gravedad y centro de masa, radica en que en el primero, se concentra el peso total del cuerpo, mientras que en el segundo, se dice que se concentra la masa total del cuerpo. Ambos puntos pueden coincidir en las mismas coordenadas si se considera que los materiales usados tiene una densidad homogénea en todo el volumen.

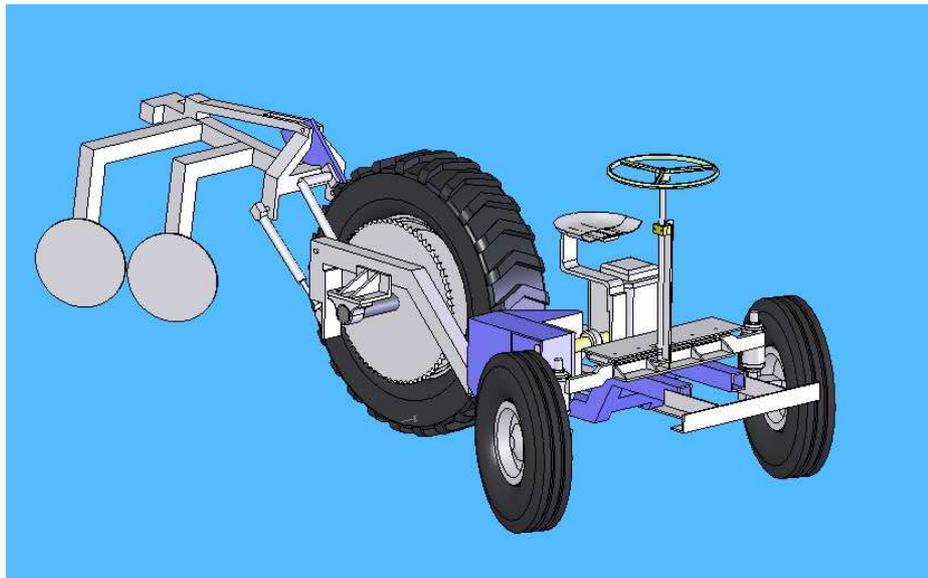


Figura 3.12 Vista isométrica del ensamble

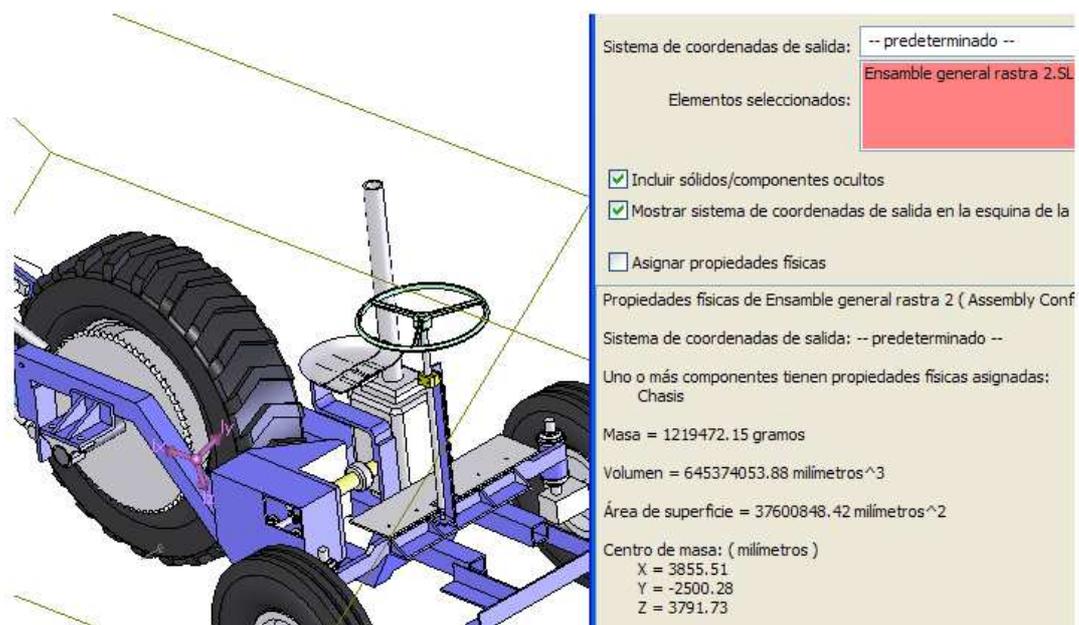


Figura 3.13 Propiedades físicas del ensamble total del tractor trineumático

Con la información anterior, queda concluida la comprensión del problema que se resuelve en este trabajo, en el siguiente capítulo se vuelve a utilizar el modelo virtual para modificar algunas de las dimensiones y configuraciones del tractor real.

CAPÍTULO IV

Propuestas de Rediseño

En un sistema inestable como el tractor trineumático, las soluciones a los problemas de balancear los momentos que provocan el volteo son variados. En este capítulo, se exploran las siguientes propuestas para posteriormente evaluar cada una de ellas.

IV.1 REDISTRIBUCIÓN DEL PESO

Como se mencionó en líneas antecesoras, el modelo virtual incluye dimensiones, densidades de material y fuerzas externas reales; de esta manera, con ayuda de la herramienta “propiedades de material” se pueden simular atributos de los cuerpos como:

- Coordenadas de centroides
- Coordenadas de centros de masa o gravedad
- Momentos de inercia
- Productos de inercia

Para poder redistribuir el peso, se debe de encontrar el centro de gravedad del modelo construido y según el modelo virtual, el centro de masa esta cercano a las coordenadas $C(3855,2500)$ ¹ en el plano XY (Figura 4.1), y en las coordenadas $C(2500,3791)$ del plano YZ (Figura 4.2) . Sin embargo estos valores solo representan a las distancias que separan a los ejes paralelos X, Y y Z que corresponden a los puntos del Centro de Gravedad y al punto que se tomó por origen o referencia al comenzar a modelar la primera pieza en el software de CAD, o bien, al chasis.

¹ Tomado de la figura 3.13, Propiedades físicas del ensamble total del tractor trineumático

En realidad las dimensiones que interesan al análisis dinámico son las comprendidas entre el centro de gravedad y el suelo, entre el eje longitudinal y el centro de gravedad y entre el eje de rotación de la rueda trasera y el centro de gravedad, pero las mostradas por la tabla de la figura 3.13 son de gran ayuda ya que sirven como referencia.

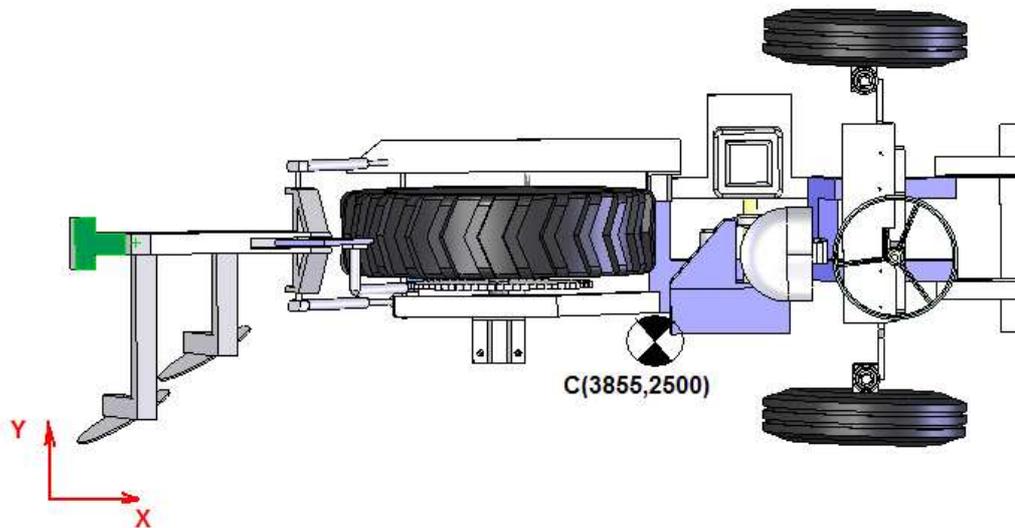


Figura 4.1 Centro de masa del tractor trineumático. Vista de planta

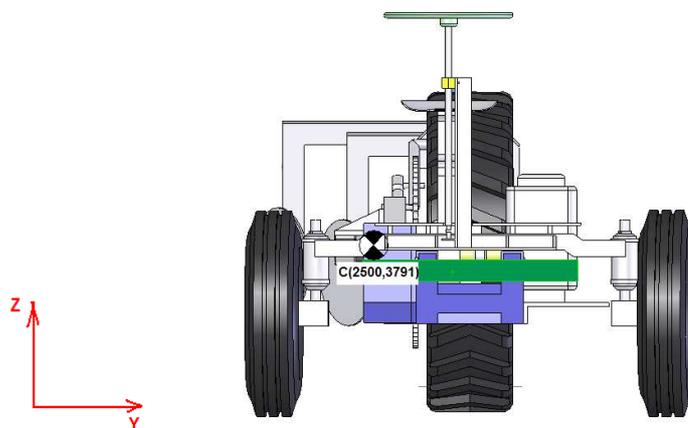


Figura 4.2 Centro de masa del tractor trineumático. Vista frontal

El equilibrio en estado estático es el estado de reposo de un cuerpo. Un cuerpo está en equilibrio cuando en su centro de gravedad está aplicada una fuerza igual y opuesta a su peso. Y además la sumatoria de los momentos también es igual a cero o mejor dicho; el equilibrio mecánico es una situación estacionaria en la que se cumplen una de estas dos condiciones:

- 1) *Un sistema está en equilibrio mecánico cuando la suma de fuerzas y momentos, sobre cada partícula del sistema es cero.*
- 2) *Un sistema está en equilibrio mecánico si su posición en el espacio de configuración es un punto en el que el gradiente de energía potencial es cero. [Beer, 2001]*

Como se muestra en las figuras 4.1 y 4.2, el centro de masa no coincide con el centro geométrico, aunque sí se encuentra dentro de las coordenadas esperadas para un cuerpo estable, dentro de la región de apoyo en el plano horizontal, es decir, dentro de las coordenadas de los apoyos en las ruedas por esta razón el primer diseño no contempló el error hasta verlo trabajar.

El equilibrio en estado dinámico, abarca las fuerzas y momentos de inercia, por ejemplo: Cuando un automóvil con tripulantes viaja y se frena bruscamente o cuando toma una curva, se nota que sobre ellos actúa una fuerza dirigida en sentido contrario al movimiento que impulsa su cabeza. Este fenómeno se observa siempre que un sistema esté sometido a una aceleración y en él existen partes móviles (que pueden moverse con mayor o menor grado de libertad). A esas fuerzas aparentes se las llama fuerzas de inercia. Así de la primera ley de Newton:

“Siempre que una fuerza produzca una aceleración a un sistema, se originará en las partes móviles del mismo otra fuerza igual y opuesta a la primera”.

En este caso se dice que el sistema se encuentra en equilibrio dinámico ya que las fuerzas ‘ficticias’ de inercia contrarrestan el efecto de las debidas a la aceleración ‘real’. Por lo tanto tenemos que $F + F_i = 0$

Por esta razón, con ayuda del modelo virtual, se mueven los componentes que representan un peso significativo del tractor trineumático para reubicar el centro de gravedad cerca del eje de simetría horizontal:

IV.1.1 Motor al frente

La gran mayoría de los tractores comerciales tienen el motor al frente, ello facilita el aumento del momento que contrarresta el encabritamiento. Modificando un poco el chasis de tractor trineumático, se logra ubicar el motor en dicha posición:

El nuevo modelo queda (Figura 4.3):

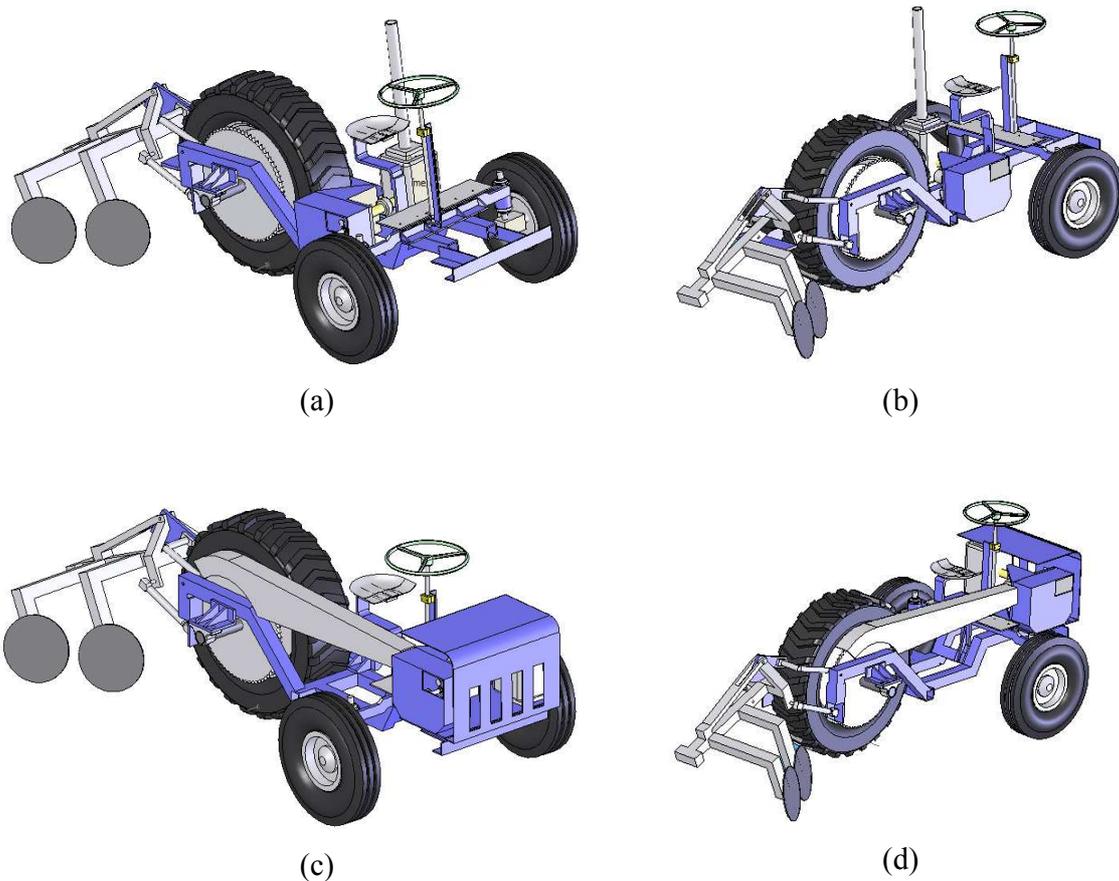


Figura 4.3 (a) y (b) Tractor original con el motor situado debajo del conductor. Figura 4.3 (c) y (d) Tractor modificado con el motor situado al frente.

En esta propuesta se cumple el objetivo de evitar el encabritamiento aunque se aumenta la masa en dos componentes nuevos: el cubre cadena y la parrilla.

IV.1.2 Aumentar longitud x_t

Otra propuesta es aumentar la longitud que existe entre el centro de gravedad total del tractor y el centro de rotación de la rueda motriz, a la cual se le denomina x_T con ello también se aumenta el momento que evita el encabritamiento (figura 4.4).

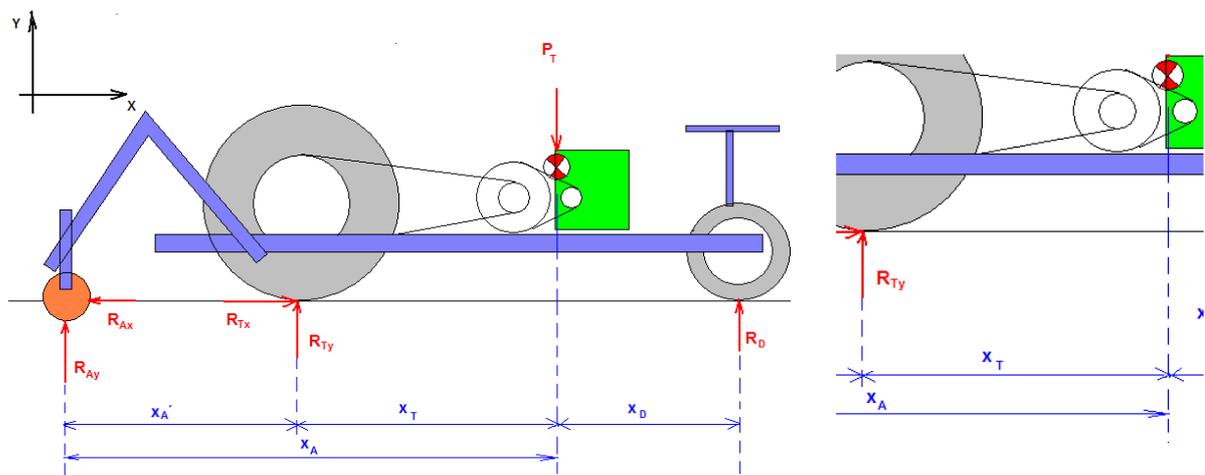


Figura 4.4 Ubicación de la dimensión x_T

Esta propuesta también implica una modificación de la estructura del chasis, que consistió en hacer que los largueros del chasis se hicieran mas largos, lo que implicó también un aumento de la masa.

IV.2 AUMENTO DEL ÁREA DE ARRASTRE

Las rastras en el diseño original del tractor trineumático contemplan solo dos discos, (figura 4.5) quizás debido a la potencia del motor, pero la ubicación de los mismos, así como las reacciones crean inestabilidad en el sistema. Para evitar estas reacciones asimétricas, se proponen arreglos de discos en número par con objeto de colocar al

baricentro sobre la línea de simetría horizontal o como se le ha llamado en este trabajo el eje longitudinal del tractor (Figura 4.6)

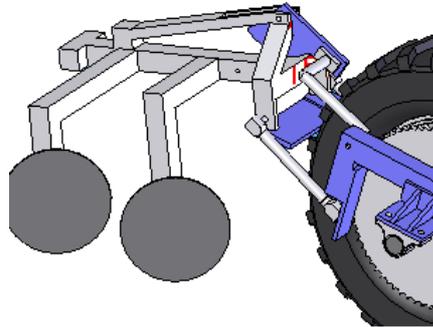


Figura 4.5 Dos discos forman a las rastras en el diseño original.

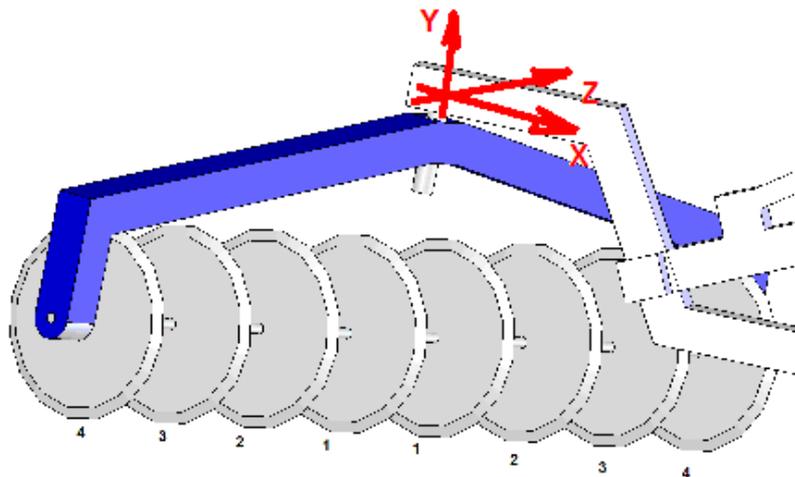


Figura 4.6 Rastra simétrica

Se puede ver como en la figura 4.7, en el modelo simétrico de rastras, el momento de giro provocado por las reacciones de arado sobre los discos, se nulifica y dicha reacción es ejercida sobre el punto de unión entre el tractor trineumático y las rastras.

Por supuesto que la carga adicional de rastras arando la tierra, provoca que el momento de encabritamiento se magnifique y para ello se tiene que recurrir a una solución complementaria.

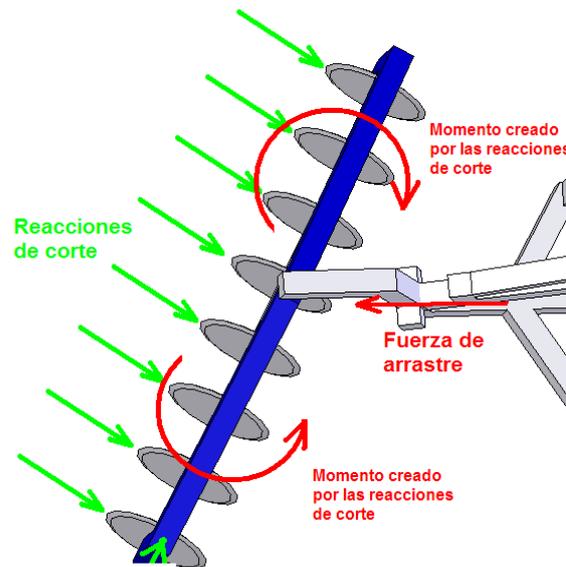


Figura 4.7 Rastras con momento nulificado.

IV.3 DISMINUCIÓN DE LA FUERZA DE ARRASTRE

Un mayor número de platos “rompiendo” a la tierra para pasar a través de ella, implica mayor potencia por parte del motor. Se crea una reacción mayor y sus posibles consecuencias son que el tractor trineumático ni siquiera pueda avanzar en su labor de trabajo y ello provoque el encabritamiento.

Para disminuir la reacción de trabajo, se puede usar una solución que evite que la remoción de la tierra sea menos penosa. Se propone movimiento rotatorio en el sistema de discos creando el efecto “navaja”. Para ello también se precisa de un sistema PTO² que se propone colocar en la parte posterior del tractor (como se usa convencionalmente) y de una transmisión que lleve la potencia al bastidor de los discos como se aprecia en la figura 4.8.

² Árbol de Potencia de Salida, PTO por sus siglas en ingles (Power Tree Outlet)

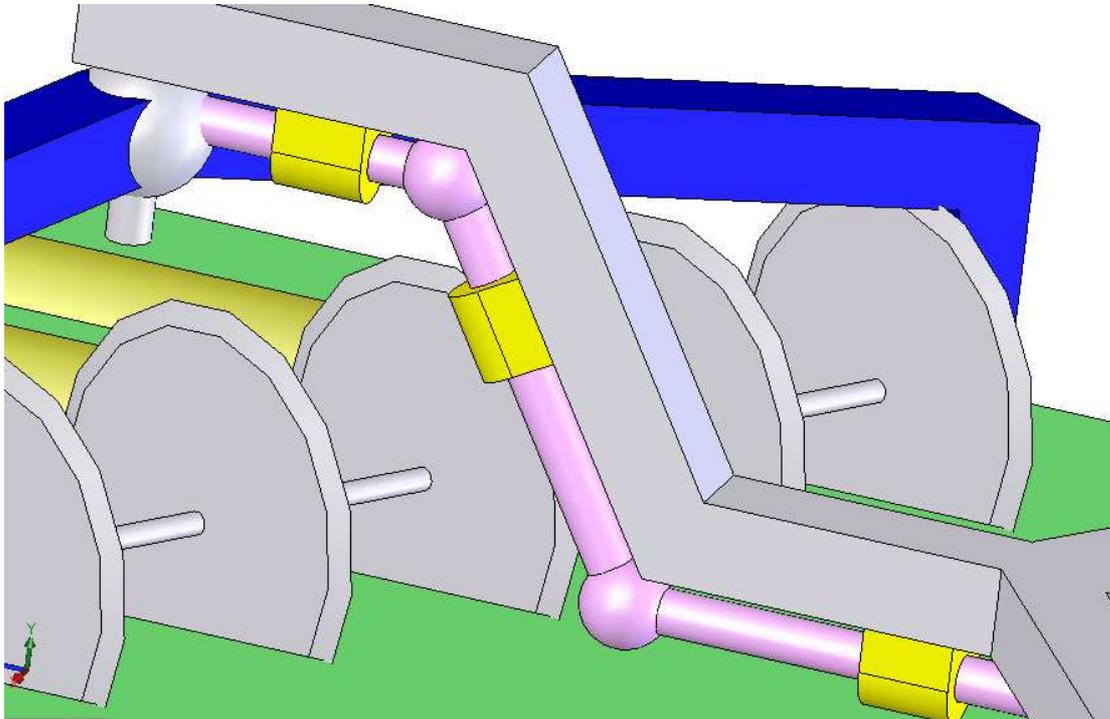


Figura 4.8 Transmisión de la potencia desde el PTO hacia los discos de la rastra

IV.4 AUMENTO DE PESO

La otra propuesta para incrementar el momento que evite el encabritamiento, es aumentar peso; y para ello se proponen dos maneras, la primera es aumentar el peso en el frente del tractor y la segunda, en el centro de gravedad.

IV.4.1 En el frente del tractor

Esta propuesta contempla un reacomodamiento de la estructura original, que de hecho, fue implementada en el prototipo original, aunque de un carácter poco exagerado. La propuesta consiste en colocar contrapesos, fabricados de un material pesado como el hierro, para ello, el chasis debe contar con soportes adecuados y los refuerzos necesarios.

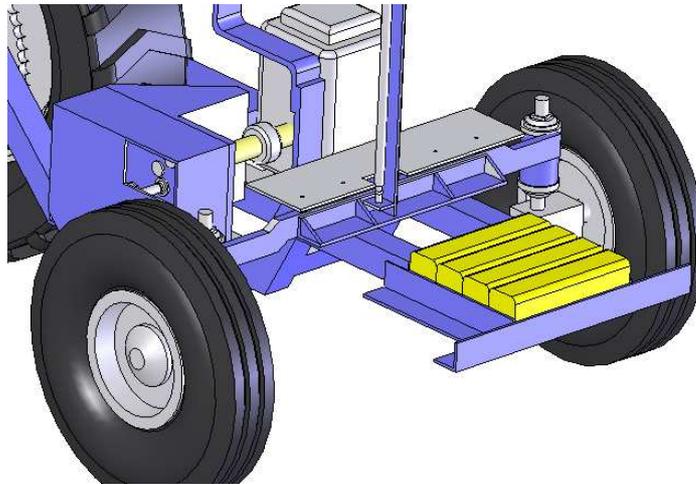


Figura 4.9 Aumento de peso en el frente del tractor

Al incrementar este peso adicional en el frente, también se modifica la posición del centro de gravedad, es decir, la longitud x_T es mayor y el momento contraencabritamiento también crece.

IV.4.2 En el centro de gravedad.

La segunda opción, no cambia la referencia del centro de gravedad, solo amplía la reacción sobre este mismo punto. Esto se logra colocando los contrapesos en dicha posición, como se muestra en la figura 4.10.

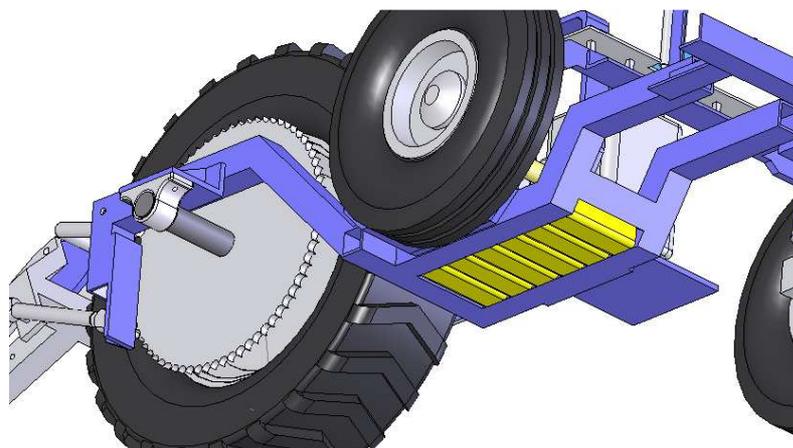


Figura 4.10 Vista de los contrapesos colocados en el centro de gravedad del tractor.

Para determinar los pesos correctos en cualquiera de los dos casos, basta con desarrollar la sumatoria de momentos de encabritamiento y de contraencabritamiento para no colocar un excesivo peso innecesario y evitar el sobre aplastamiento de la tierra (Figura 4.11).

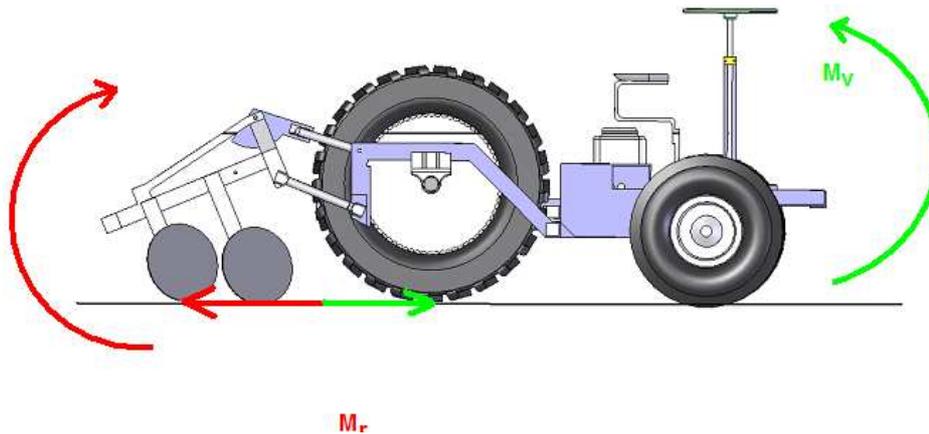


Figura 4.11 Al aumentar el peso del centro de gravedad, el momento de volteo es equilibrado

Entonces la sumatoria de ambos momentos debe resultar nula por lo que la resultante de momentos es (Ecuación 4.1):

$$\sum M = 0 \quad (4.1)$$

$$M_v + M_r = 0 \quad (4.2)$$

Donde:

M_v = Momento de volteo o encabritamiento

M_r = Momento de reacción o de contraencabritamiento.

IV.5 GIROSCOPIO

La resultante de momentos es igual a la variación de la cantidad de movimiento, por lo que una de las posibles soluciones es implementar un giroscopio con el efecto giroscópico que contrarreste la sumatoria de momentos.

Un giroscopio es una masa que gira a una alta velocidad alrededor de su eje de simetría, es decir, a la velocidad de espín. A su vez, el eje de simetría puede tomar cualquier orientación – llamada nutación- siempre y cuando el centro de gravedad del giroscopio permanezca en una misma posición. Para hacer esto posible, se selecciona un sistema de referencia fijo, en cuyo origen se encuentre posicionado el centro de masa del giroscopio, y otro sistema móvil, que coincida en dirección con el eje de simetría del giroscopio.

Para aplicar este concepto de balance de momentos, es necesario definir a los sistemas de coordenadas mencionados anteriormente y a la masa que funciona como giroscopio. Dicho esto, de entre los cuerpos que tienen gran masa y tienen velocidad de rotación se puede mencionar al cigüeñal del motor, a los engranes de la caja de velocidades y la rueda motriz o de tracción del tractor; aunque de entre ellos solo el cigüeñal del motor es el único que desarrolla gran velocidad. Ahora, el momento que se debe contrarrestar es aquel que provoca el encabritamiento del tractor, que es un momento que tiene dirección del eje de giro de la rueda motriz, por lo tanto, el resultante de la variación de la cantidad de movimiento debe tener la misma dirección, aunque en sentido contrario. Se muestra en la ecuación 4.3

$$\sum M = \dot{H} \quad (4.3)$$

Se desarrolla la variación de la cantidad de movimiento angular:

$$\dot{H} = \frac{dH}{dt} = \frac{d}{dt}(I\omega) \quad (4.4)$$

$$H = \begin{bmatrix} I_{xx}\omega_x + I_{xy}\omega_y + I_{xz}\omega_z \\ I_{xy}\omega_x + I_{yy}\omega_y + I_{yz}\omega_z \\ I_{xz}\omega_x + I_{yz}\omega_y + I_{zz}\omega_z \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

$$H = (I_{xx}\omega_x + I_{xy}\omega_y + I_{xz}\omega_z)\hat{i} + (I_{xy}\omega_x + I_{yy}\omega_y + I_{yz}\omega_z)\hat{j} + (I_{xz}\omega_x + I_{yz}\omega_y + I_{zz}\omega_z)\hat{k}$$

Y se sabe que para derivar a este tipo de vectores se necesita resolver la ecuación 4.6³:

$$\frac{dH}{dt} = \left(\frac{dH}{dt} \right)_{xyz} + \Omega \times H \quad (4.6)$$

En donde el primer término después del signo de igualdad representa a la variación de la cantidad de movimiento angular visto desde el sistema móvil, es decir, representa a el cambio de magnitud; mientras que el segundo término representa al mismo vector cantidad de movimiento angular alterado por la velocidad del sistema móvil, en otras palabras, representa al cambio de dirección del vector.

Según el sistema de referencia propuesto en la figura 4.12 los momentos de encabritamiento y vuelco lateral que deben corregirse son alrededor de los ejes X y Y.

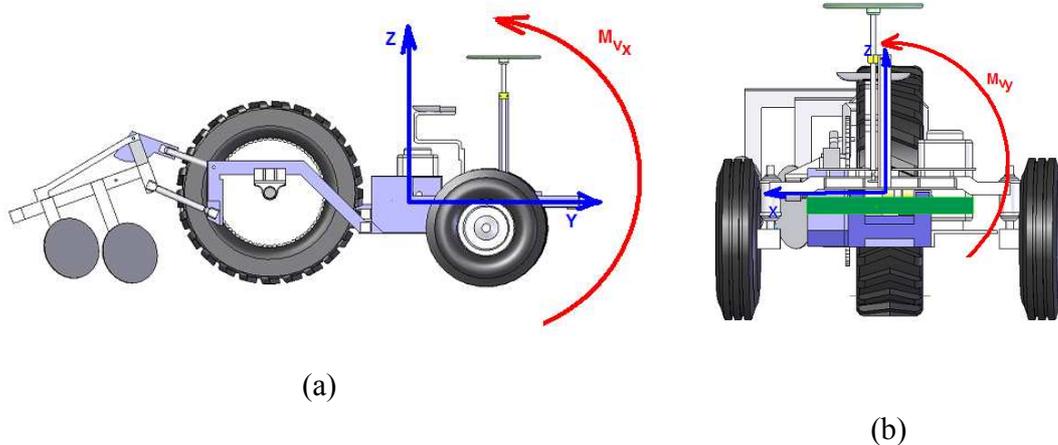


Figura 4.12 Sistema de referencia y momentos a corregir

Por lo que las reacciones que representan las variaciones de la cantidad de movimiento angular deben tener las mismas componentes.

³ Esta ecuación es muy común en cualquier libro de Dinámica, en el capítulo que se refiere a Impulso y Cantidad de Movimiento, no se especifica a ningún autor por comodidad del lector.

Se debe recordar que el momento M_{vy} es un momento provocado por el centro de gravedad fuera del eje de simetría del tractor, por lo que la mejor solución para evitar este efecto es la reubicación de este centro. Suponiendo que se puede realizar esta reubicación mencionada, la variación de la cantidad de movimiento angular que se busca es aquella que solo tiene componente en la dirección del eje X pero en sentido negativo (Ecuación 4.7), es decir que:

$$\dot{\vec{H}} = -\dot{H}\hat{i} \quad (4.7)$$

Para que esto ocurra debe pasar que si el momentum angular H es igual a:

$$\vec{H} = (I_{xx}\omega_x + I_{xy}\omega_y + I_{xz}\omega_z)\hat{i} + (I_{xy}\omega_x + I_{yy}\omega_y + I_{yz}\omega_z)\hat{j} + (I_{xz}\omega_x + I_{yz}\omega_y + I_{zz}\omega_z)\hat{k} \quad (4.8)$$

Donde los momentos de inercia I_{xx} , I_{yy} e I_{zz} representan a los momentos de inercia principales del giroscopio, los productos de inercia I_{xy} , I_{xz} e I_{yz} los productos del mismo giroscopio y las velocidades angulares ω_x , ω_y y ω_z representan las componentes del sistema de referencia auxiliar con que se mueve el giroscopio. Entonces, dado que un giroscopio es simétrico respecto a sus ejes de giro, los productos de inercia deben ser nulos y como se debe manejar un giroscopio que no altere la magnitud de sus velocidades angulares por la facilidad que esto representa para su construcción, el cambio de la cantidad de movimiento angular (Ecuación 4.9) se reduce a:

$$\frac{d\vec{H}}{dt} = \left(\frac{d\vec{H}}{dt} \right)_{xyz} + \vec{\Omega} \times \vec{H} = -\dot{H}\hat{i} \quad (4.9)$$

Luego, para que la resultante quede en términos de la componente en \hat{i} , pueden suceder tres casos distintos que son:

$$\Omega\hat{k} \times H\hat{j} = -\dot{H}\hat{i} \quad (4.10)$$

o bien,

$$-\hat{\Omega}\hat{j} \times H\hat{k} = -\hat{H}\hat{i} \quad (4.11)$$

y por último que:

$$\hat{\Omega}\hat{j} \times (-H\hat{k}) = -\hat{H}\hat{i} \quad (4.12)$$

Se discriminan a las ecuaciones 4.10 y 4.11 por la razón de que existe el momento M_{vy} descrito en la figura 4.12 (b) en la dirección positiva de Y y la dirección de la velocidad del sistema auxiliar o móvil es la misma. Dicho de otra manera, basándose en el razonamiento anterior, el giroscopio debe ser un volante de inercia sobre el plano XY que gire alrededor del eje Z y colocarse en la misma coordenada Y del centro de gravedad del tractor pero sobre la línea de simetría. Al hacer esto, el centro de gravedad tirado en una coordenada diferente de cero sobre el eje X provocará que el cuerpo del tractor gire alrededor del eje Y en sentido positivo. Para no alterar las cantidades que forman al momentum angular, la velocidad $\hat{\Omega}\hat{j}$ del sistema de referencia móvil será la velocidad con que gira el tractor y la velocidad con que gira el volante de inercia solamente tiene una componente en la dirección Z negativo.

Por lo que la ecuación 4.8 se transforma en:

$$H = I_{zz}(-\omega_z)\hat{k} \quad (4.13)$$

Derivando a la ecuación 4.13 queda:

$$\frac{d}{dt}H = \hat{\Omega}\hat{j} \times I_{zz}(-\omega_z)\hat{k} \quad (4.14)$$

Simplificando:

$$\frac{d}{dt}H = -I_{zz}\hat{\Omega}\omega\hat{i} \quad (4.15)$$

El producto mostrado en la ecuación 4.15, representa el efecto giroscópico que contrarresta al momento de encabritamiento utilizando al momento de volteo M_{vy} como herramienta. Debe recordarse que ambos momentos ocurren simultáneamente, por lo que parece una buena solución.

Para determinar los valores mostrados en la ecuación 4.15 se establece el valor del momento de encabritamiento M_{vx} ⁴ y el del momento de volteo M_{vy} ⁵ usando el peso total del tractor y las distancias del centro de gravedad del mismo al centro de rotación de la rueda motriz y al centro del sistema de referencia fijo respectivamente.

Por último, para llevar a cabo esta propuesta, es necesario hacer un espacio para colocar al volante de inercia, por lo que se tiene que hacer una modificación al chasis, similar a la propuesta del aumento de la distancia X_T para hallar espacio suficiente. Entonces, como se ve en la figura 4.13 el volante de inercia queda debajo del asiento del conductor del tractor trineumático.

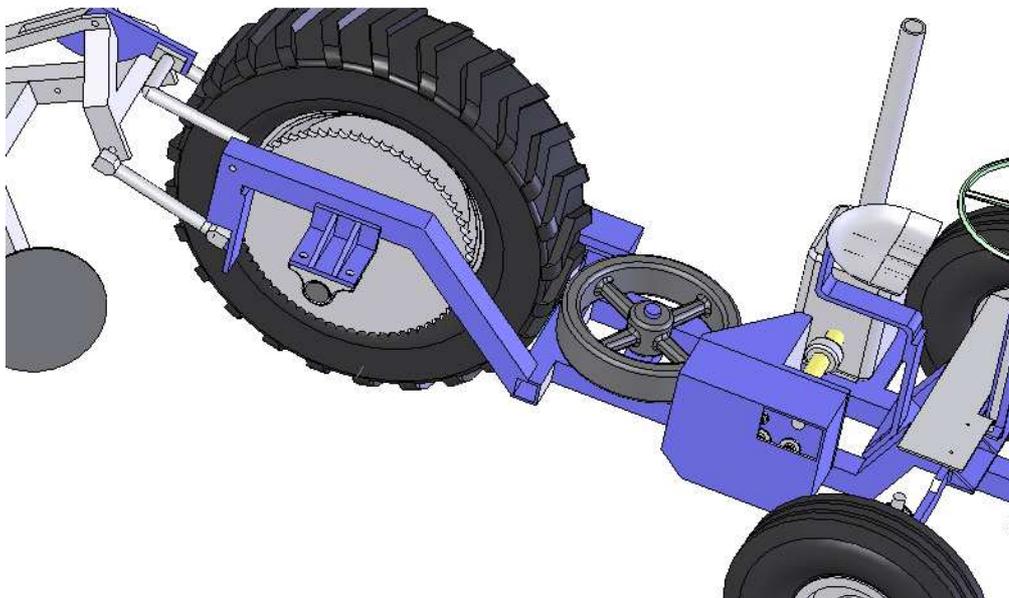


Figura 4.13 Ubicación del giroscopio.

⁴ Ubicado en la dirección positiva del eje X

⁵ Ubicado en la dirección positiva del eje Y

Todas las propuestas mostradas en el presente capítulo, intentan solucionar el problema del vuelco del tractor, sin embargo algunas de ellas son mejores que otras debido a múltiples factores como pueden ser la facilidad de modificaciones en la manufactura, o el costo, o la estética, o el resultado final, etc. Por ello en el siguiente capítulo se evalúan cada una de las propuestas.

CAPÍTULO V

Evaluación de propuestas de rediseño

Al conocer las propuestas de solución a los momentos de volteo, es obvio pensar que no todas ellas son un recurso viable dada su naturaleza técnica y/o económica. En el presente capítulo se analizan dichas soluciones. En las primeras líneas se describen las alteraciones y posteriormente se comparan entre ellas.

V.1 REDISTRIBUCIÓN DEL PESO

Las dos propuestas de redistribución de peso, contemplan usar los mismos elementos que el modelo actual, sin embargo las posiciones alteradas, provocan modificar dimensiones de algunos de ellos y/o el aumento y disminución de algunos otros.

V.1.1 Motor al frente

Al colocar el motor y la caja de velocidades en el frente, hubo que adaptar un soporte en la parte frontal del chasis y un elemento que cubriera la cadena porque la dimensión entre el eje de la rueda trasera y el eje donde está colocada la catarina motriz aumentó, además de que pasa por un costado del conductor del tractor, lo que implica un riesgo para su seguridad.

Este nuevo elemento induce que el ascenso y descenso del conductor se haga por un solo lado del tractor, lo que desemboca en una menor prestación del tractor trineumático como se aprecia en la figura 5.1

V.1.2 Aumentar longitud x_c

En esta solución, como se aprecia en la figura 5.2, también se modificó al chasis y la cadena también creció un poco.

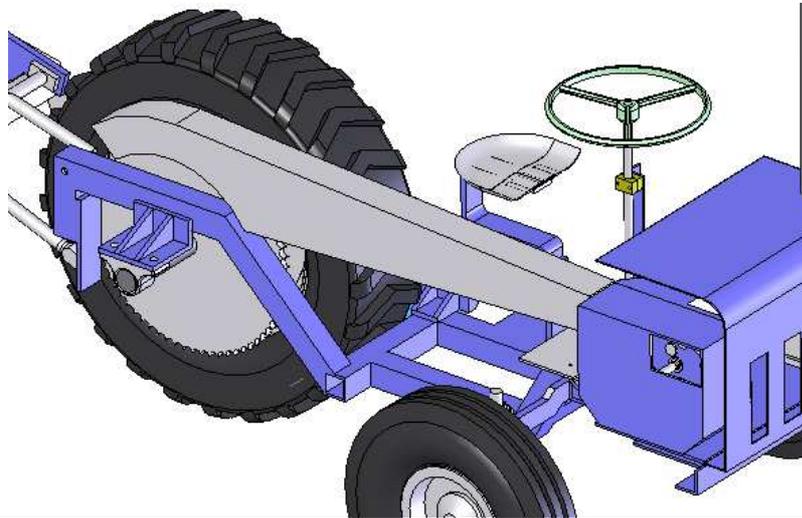


Figura 5.1 Modificaciones al chasis para colocar en motor en el frente.

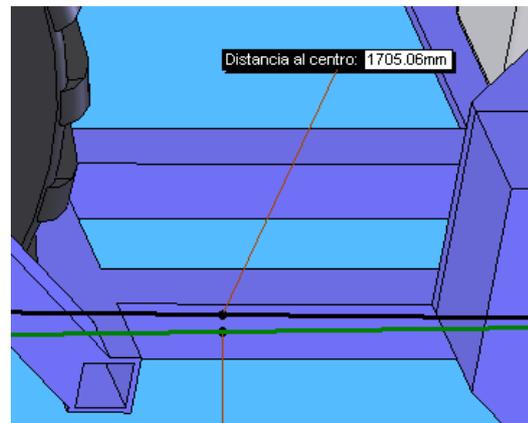
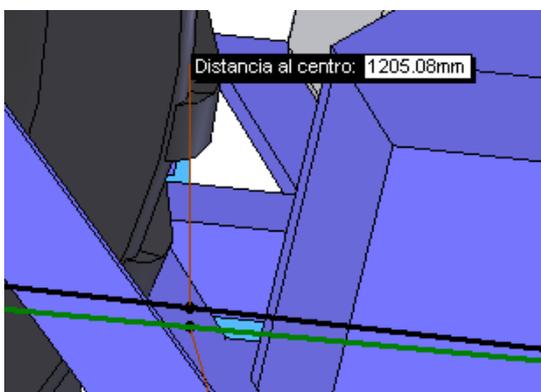
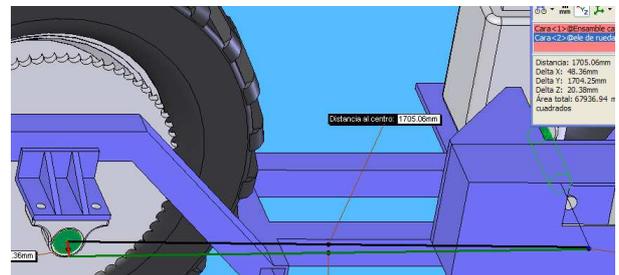
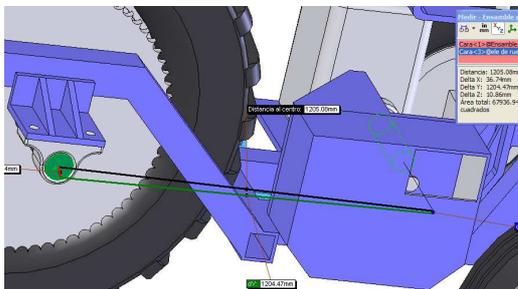


Figura 5.2 Modificaciones al chasis para aumentar la distancia entre el centro de gravedad y el centro de rotación de la rueda motriz.

V.2 AUMENTO DEL ÁREA DE ARRASTRE

Para esta propuesta existe una mayor resistencia (figura 5.3) porque la fuerza que se opone a dos discos arando la tierra, se multiplica por 2, 3 o 4 veces y tendría que colocarse un motor mas grande, lo que implica un mayor gasto, a la vez que el peso total del tractor debe ser mayor para evitar el momento de encabritamiento.

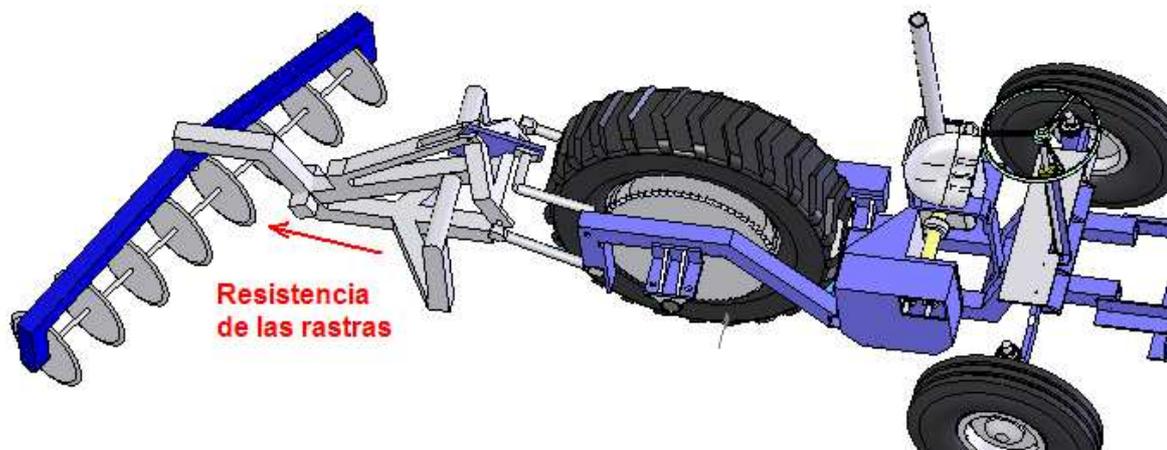


Figura 5.3 Modificación simétrica de las rastras.

V.3 DISMINUCIÓN DE LA FUERZA DE ARRASTRE

Hay que adaptar un motor que gire a los discos. Esta solución está inspirada en la configuración de los tractores comerciales, los cuales cuentan con un tercer punto (PTO)¹ que se conecta al apero, lo que provoca que los discos de arado giren y puedan avanzar más fácilmente a través del suelo.

Esta propuesta precisa usar una parte de la potencia del motor, para destinarla al PTO, o bien (figura 5.4), que se ensamble un motor adicional en la parte posterior del chasis. En cualquier caso, también implica un gasto económico adicional.

¹ Al PTO también se le conoce como Punto de trabajo, Tercer punto o Punto de fuerza según la región geográfica

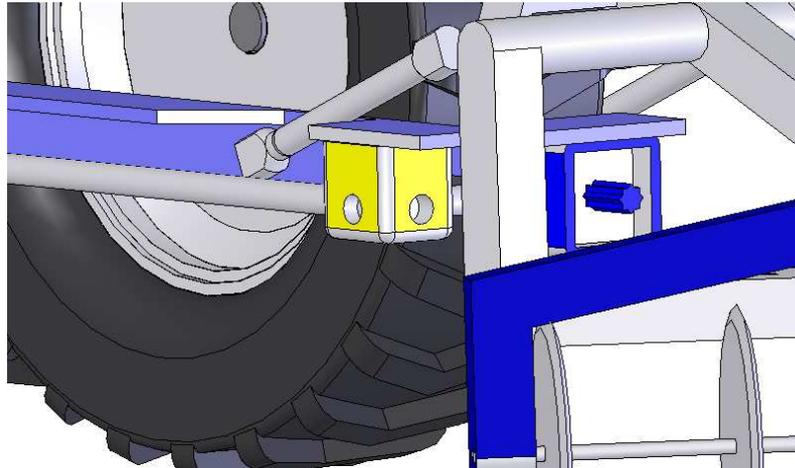


Figura 5.4 Inserción de el PTO en la parte posterior del chasis.

V.4 AUMENTO DE PESO

V.4.1 **En el frente del tractor**

Esta propuesta muestra una adaptación mínima del chasis (figura 5.5), por lo que no implica demasiado dinero pero tampoco ayuda mucho en la solución porque sigue existiendo el encabritamiento.

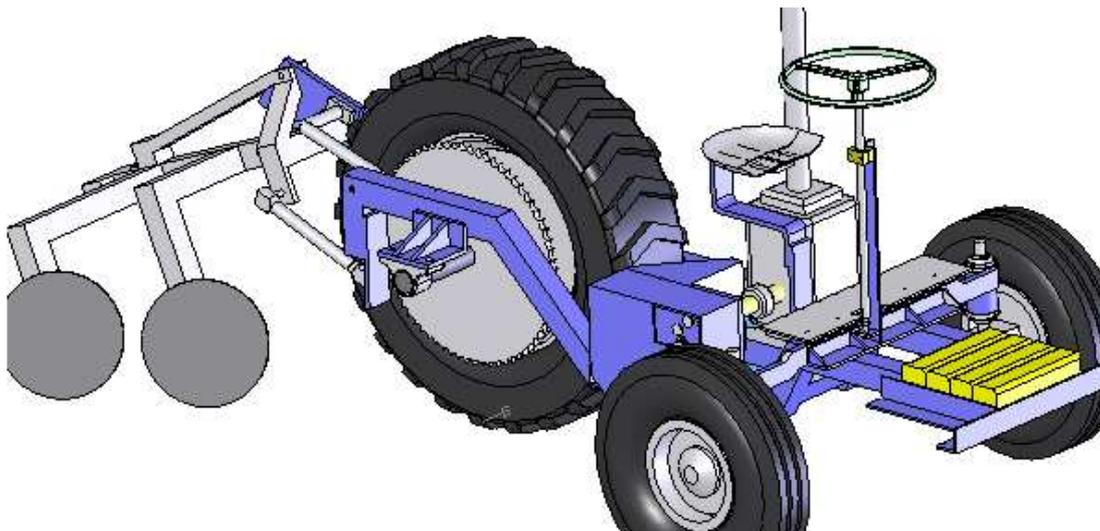


Figura 5.5 Modificación en el chasis para cargar contrapesos en el frente.

V.4.2 En el centro de gravedad.

Las modificaciones (figura 5.6), al igual que en la propuesta de aumentar el peso en el frente del tractor, no involucran a gastar una gran cantidad de dinero, pero la mejoría tampoco es muy satisfactoria porque provoca mayor aplastamiento sobre el suelo.

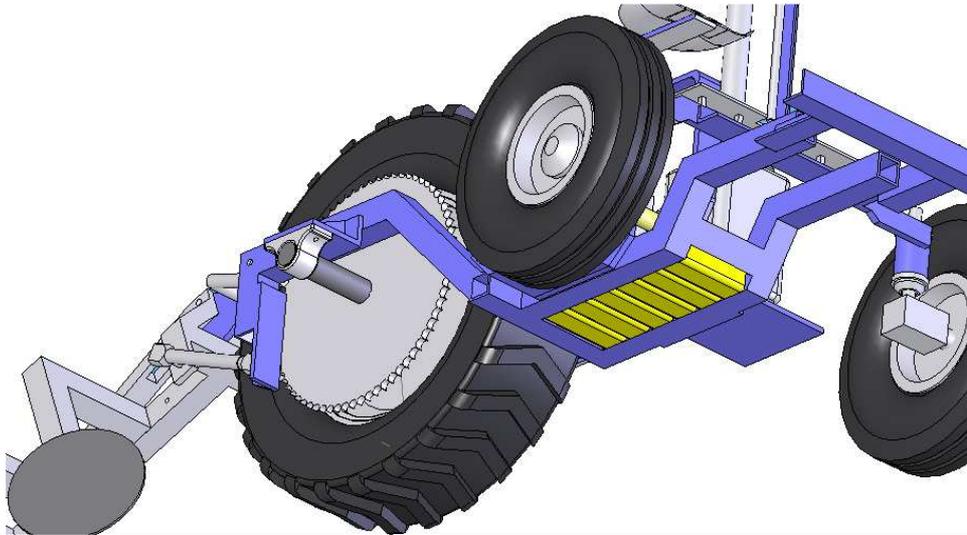


Figura 5.6 Modificación en el chasis para cargar contrapesos en el centro de gravedad

V.5 GIROSCOPIO

Esta propuesta parece que ayuda en gran medida, porque afecta al momento de giro en el eje axial (figura 5.7), usando al momento de volteo y un motor, pero es una solución demasiado cara.

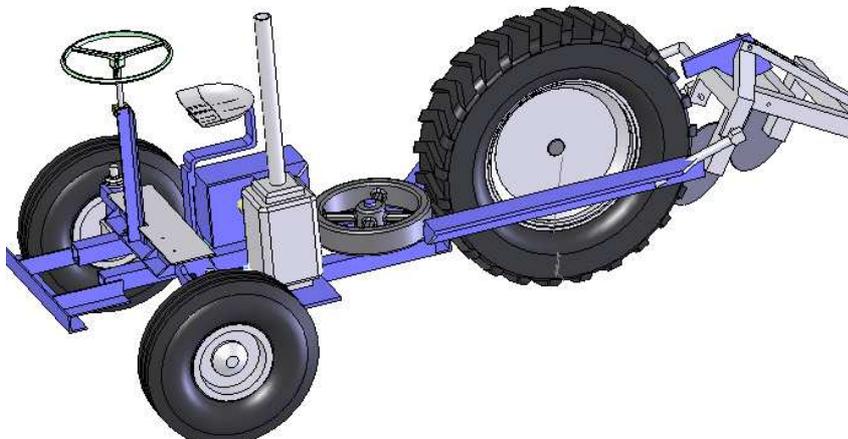


Figura 5.7 Adaptación de un giroscopio en el tractor.

Además de que para mover al volante de inercia hace falta un motor adicional o bien una derivación del motor principal. En cualquiera de los dos casos, La solución requiere de la inversión de la instalación motriz de dicho giroscopio.

V.6 COMPARACIÓN DE PROPUESTAS DE REDISEÑO

Para elegir la solución adecuada al tractor trineumático, se verifican los pros y contras de cada una de ellas. Para ello se establece una matriz de jerarquización de requerimientos (Tabla 5.1):

Tabla 5.1 Comparación de Jerarquías

Propuestas de solución		Numero de propuesta	Pretensión Mínima	Pretensión Máxima	Pretensión Mínima	Pretensión Máxima
			Costo	Facilidad de instalación o adaptación	Efectos secundarios nocivos	Efectividad
Redistribución de peso	Motor al frente	1	C	E	A	B
	Aumento de X_T	2	D	A	C	C
Aumento del área de arrastre		3	B	C	A	C
Disminución de la fuerza de arrastre		4	B	B	E	B
Aumento de peso	En el frente	5	E	A	E	D
	En el centro de gravedad	6	E	A	E	E
Giroscopio		7	A	E	D	A

Donde las literales significan:

- A Muy Elevado
- B Elevado
- C Moderado
- D Bajo
- E Muy bajo

Al analizar la tabla 5.1 se observa claramente que no hay una solución ideal, sin embargo se puede discutir aun más en cada columna.

Columna de costo. (Tabla 5.2)

En esta columna se aprecia que las propuestas 5 y 6 son las mejores, mientras que la propuesta 7 es la menos recomendable.

Tabla 5.2 Posiciones de las propuestas respecto del costo

1er lugar	2º lugar	3er lugar	4º lugar	5º lugar
Aumento de peso en el frente	Distribución de peso, aumento de X_T	Distribución de peso, motor al frente	Aumento del área de arrastre	Giroscopio
Aumento de peso en el centro de gravedad			Disminución de la fuerza de arrastre	

Facilidad de instalación o adaptación (Tabla 5.3)

En esta columna se aprecia que las propuestas 2, 5 y 6 son las mejores, mientras que las propuestas 1 y 7 son las menos recomendables.

Tabla 5.3 Posiciones de las propuestas respecto de la facilidad de adaptación

1er lugar	2º lugar	3er lugar	4º lugar
Distribución de peso, aumento de X_T	Disminución de la fuerza de arrastre	Aumento del área de arrastre	Distribución de peso, motor al frente
Aumento de peso en el frente			Giroscopio
Aumento de peso en el centro de gravedad			

Efectos secundarios nocivos (Tabla 5.4)

En esta columna se aprecia que las propuestas 4, 5 y 6 son las mejores, mientras que las propuestas 1 y 3 son las menos recomendables.

Tabla 5.4 Posiciones de las propuestas respecto de los efectos secundarios nocivos

1er lugar	2° lugar	3er lugar	4° lugar
Disminución de la fuerza de arrastre	Giroscopio	Distribución de peso, aumento de X_T	Distribución de peso, motor al frente
Aumento de peso en el frente			Aumento del área de arrastre
Aumento de peso en el centro de gravedad			

Efectividad (Tabla 5.5)

En esta columna se aprecia que la propuesta 7 es la mejor, mientras que la propuesta 6 es la menos recomendable.

Tabla 5.5 Posiciones de las propuestas respecto de la efectividad

1er lugar	2° lugar	3er lugar	4° lugar	5° lugar
Giroscopio	Distribución de peso, motor al frente	Distribución de peso, aumento de X_T	Aumento de peso en el frente	Aumento de peso en el centro de gravedad
	Disminución de la fuerza de arrastre	Aumento del área de arrastre		

Con el análisis anterior, se aprecia que no hay una solución que satisfaga al cien por ciento el problema de encabritamiento y volteo del tractor trineumático, por lo que una interacción de éstas debe arrojar mejores resultados. En el próximo capítulo se discute con más profundidad este aspecto.

CAPÍTULO VI

Resultados y Conclusiones

Los valores que contiene la tabla 5.1 del capítulo anterior, para definir las propuestas de solución son de diferente jerarquía. Para cumplir con los objetivos establecidos en la introducción del presente trabajo, se maneja una mezcla de soluciones para tratar de alcanzar la mayor satisfacción de la solución del problema.

Para comenzar, los valores que se plantean son (Tabla 6.1):

Tabla 6.1 Valores de las propuestas de solución

Costo	Facilidad de instalación o adaptación	Efectos secundarios nocivos	Efectividad
35	10	10	45

Es decir, lo más importante es que las propuestas de solución sean lo menos caras y lo más efectivas posibles, claro, tomando en cuenta que no dificulte demasiado el rediseño del prototipo.

- Las opciones 5 y 6 son las más baratas, sin embargo no son efectivas para evitar el vuelco por lo que esta solución está muy limitada.
- La opción 7 es la más efectiva, sin embargo no cumple con el propósito de economizar en lo posible la construcción del prototipo.

- Las opciones 1 y 4 son de las mejores soluciones ya que son relativamente efectivas, fáciles de llevar a cabo y comparativamente económicas.
- Las opciones 2 y 3 ayudan en la solución, mas no tienen un peso preponderante e implican hacer mayores modificaciones.

Se confirma que una solución integral es modificar varios elementos para evitar el vuelco y a la vez se economice el resultado. Las propuestas que se formulan son:

- Se mantienen los contrapesos en el frente y en el centro, y se recomienda el lastre en la tracción al rellenar con agua las ruedas para darle mayor peso y estabilidad al tractor, cuando las condiciones del terreno lo ameriten (ver apéndice).
- Se mantiene la propuesta de un punto de trabajo en la parte posterior del tractor trineumático (PTO), ya que se puede usar no solo para dar potencia al giro de los discos, sino que también se puede utilizar como un auxiliar para bombear agua y demás menesteres en la labor agrícola. Al colocarlo al lado izquierdo del eje longitudinal ayuda a que el centro de gravedad se desplace hacia el eje longitudinal o de simetría geométrica (Figura 6.1).
- Se mantiene la propuesta de cambiar la posición del motor y la caja de velocidades al frente, aunque para evitar que la cadena sea tan grande también se propone cambiar el sistema de transmisión por una flecha cardán (Figura 6.2).
- Se propone agregar un bastidor que evite que se lastime de alguna forma el usuario como objetivo principal en caso de volcadura y que también provea de cobijo de los rayos del sol y lluvia (Figura 6.3)
- Se mantiene la propuesta de aumentar la distancia X_T para darle espacio al bastidor de seguridad y

- Se propone que el asiento del usuario contenga un cinturón de seguridad para que en caso de volcadura el conductor no se golpee o salga del habitáculo (Figura 6.4).

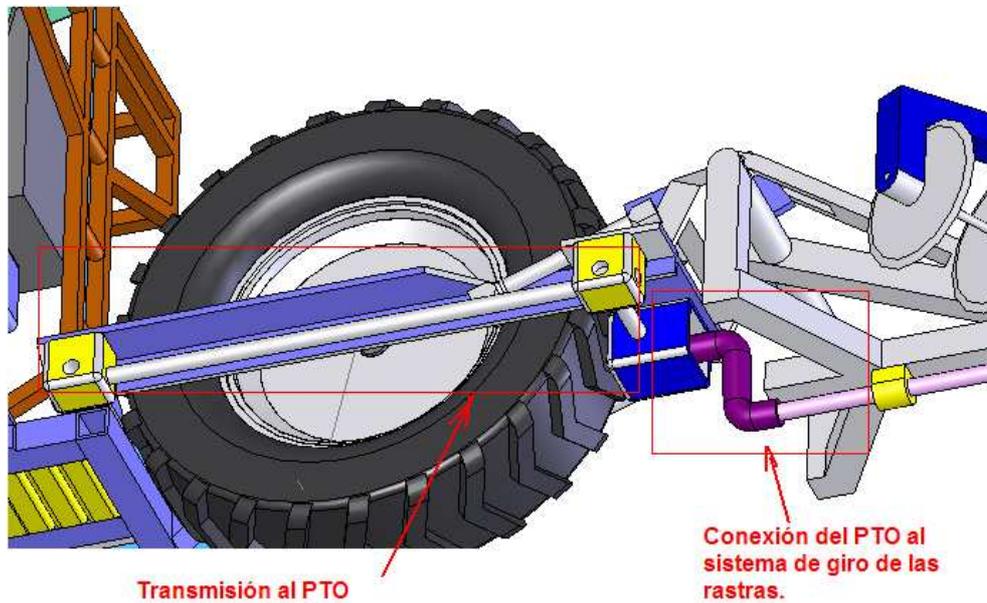


Figura 6.1 Instalación de la transmisión de potencia PTO

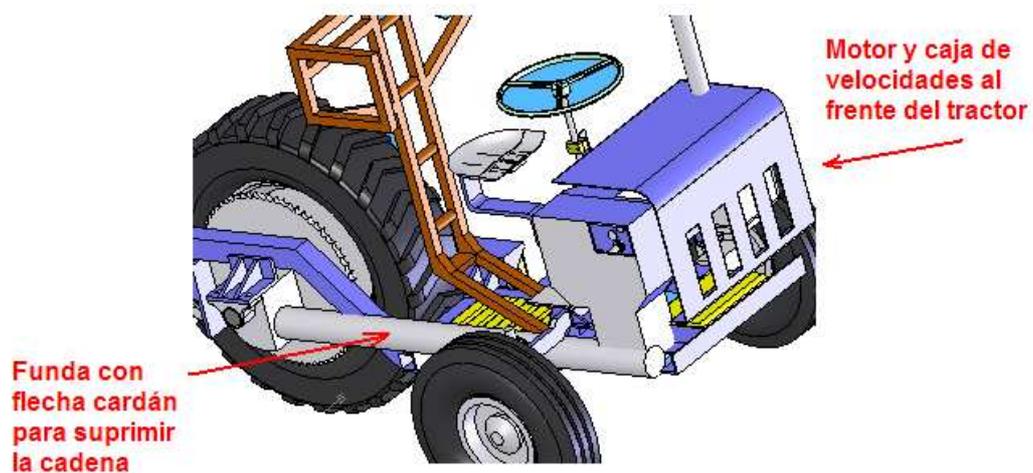


Figura 6.2 Ubicaciones del motor, caja de velocidades y flecha cardán.

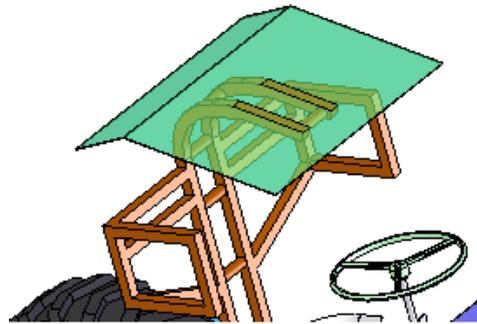


Figura 6.3 Bastidor con protección contra lluvia y sol.

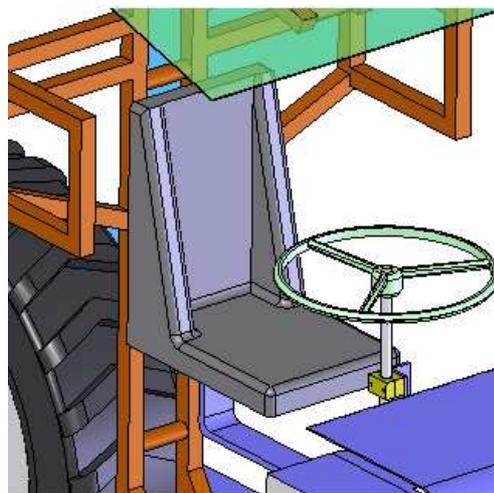


Figura 6.4 Asiento dispuesto con cinturón de seguridad protegido por el bastidor.

- Agregando todas las recomendaciones, el modelo final queda como se muestra en la figura 6.5:

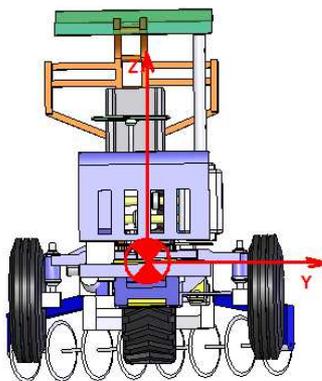


Figura 6.5 Modelo final Plano YZ

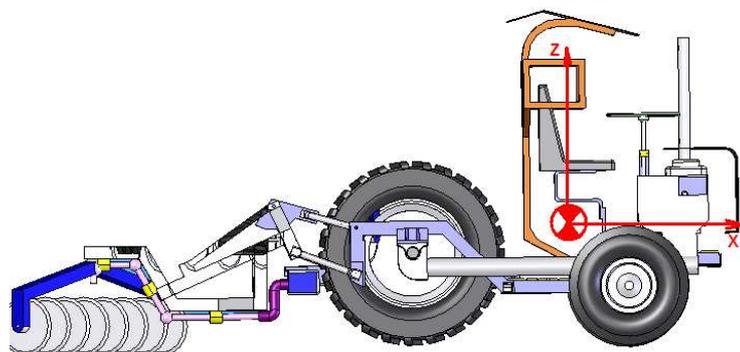


Figura 6.6 Modelo final Plano XZ

Observando las figuras 6.5 y 6.6, puede verse que el centro de gravedad se desplazó a favor del eje X y a favor del eje Y en el sentido positivo, comparando con las figuras 4.1 y 4.2 del capítulo 4. No se hizo hincapié en bajar el CG en el sentido negativo del eje Z, ya que el tractor debe ser una máquina capaz de atravesar por terrenos difíciles y la altura con que se diseñan todos los tractores ayuda a facilitar esa labor, con el fin de evitar choques o atascamientos con el suelo. Por último, se muestran las figuras 6.7 y 6.8 que corresponden también al modelo final, pero en forma isométrica para una mejor apreciación de la propuesta final del tractor trineumático.

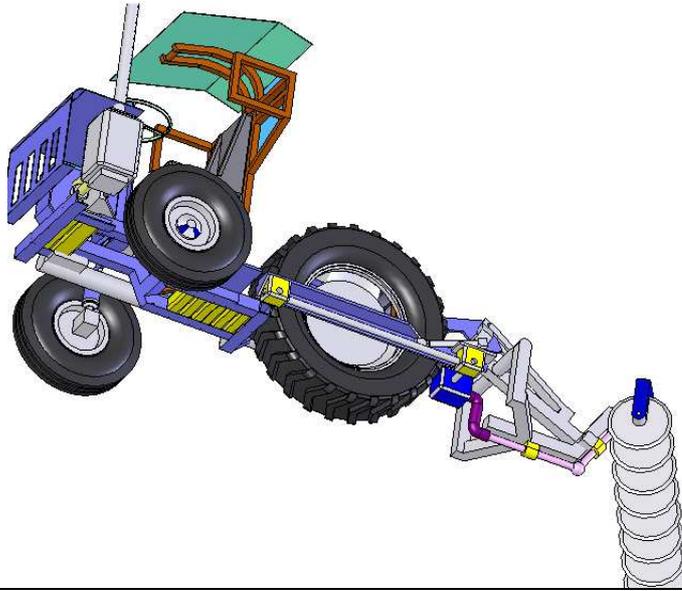


Figura 6.7 Propuesta final del tractor trineumático. Vista isométrica inferior

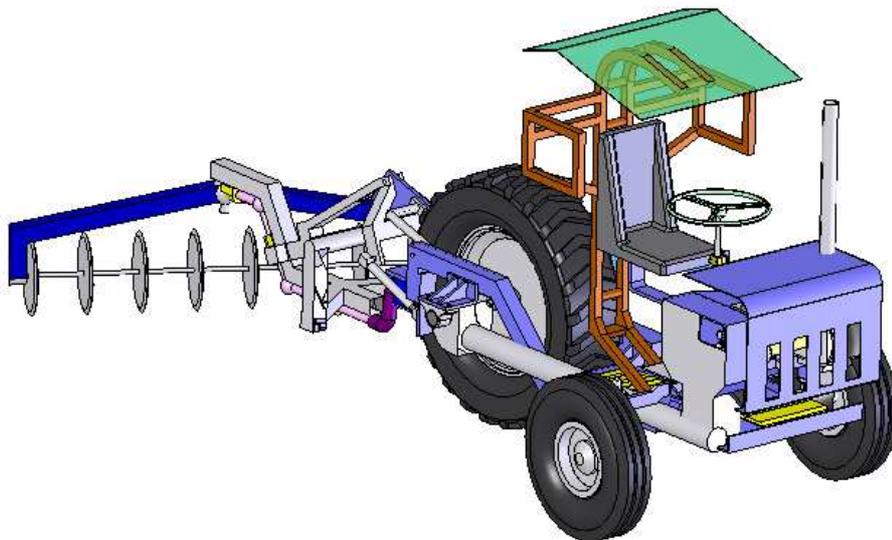


Figura 6.8 Propuesta final del tractor trineumático. Vista isométrica superior

A1

Guía de Lastre

El tractor se somete a distintos tipos de trabajo y distintos tipos de suelo, por lo que debe lastrarse para evitar que se atasque en algún punto. Para ello es recomendable que:

- Una llanta de tipo radial cuidadosamente inflada es de 6 a 8 por ciento más eficiente que una llanta de tipo bias ply, sin embargo requiere de más cuidados.
- No se debe exceder la carga máxima permisible que el tractor puede desplazar.
- Se debe verificar regularmente la presión de inflado en los neumáticos, porque de ello depende un buen desempeño por parte del tractor.
- Casi todas las llantas soportan una presión máxima de 240 kPa, por lo tanto no se debe de exceder este valor o de lo contrario puede traer consecuencias fatales.
- Los fabricantes de llantas suelen colocar en el costado de las llantas las relaciones de máximas presiones para máximas cargas, usando presiones menores a máximas cargas puede hacer que la llanta se afecte o bien, afectar al desempeño del tractor.
- Al cambiar el tamaño de las llantas, también cambia la velocidad de desplazamiento del tractor. Se debe tomar esta afectación en cuenta.
- Se debe revisar con regularidad el lastre de agua en las ruedas. Dejarla dentro por mucho tiempo, repercute en la corrosión del rin.

A2

Lista de imágenes

Tema de la figura	Número de Fig.	Página
Adaptación de un giroscopio en el tractor	5.7	55
Al aumentar el peso del centro de gravedad, el momento de volteo es equilibrado	4.11	44
Algunos accesorios del chasis	3.10	32
Asiento dispuesto con cinturón de seguridad protegido por el bastidor	6.4	62
Aumento de peso en el frente del tractor	4.9	43
Bastidor con protección contra lluvia y sol	6.3	62
Bastidor de tractor	2.7	18
Cabina certificada de tractor	2.8	18
Centro de masa del tractor trineumático. Vista de planta	4.1	36
Centro de masa del tractor trineumático. Vista frontal	4.2	36
Chasis del tractor trineumático	3.9	31
Condiciones de compactación del suelo vs crecimiento de la flora	2.9	19
Condiciones de volumen entre suelos compactos y no compactos	2.10	20
Croquis tridimensional de las reacciones en las ruedas del tractor trineumático	3.7	29
Dos discos forman a las rastras en el diseño original	4.5	40
El tractor gira alrededor de las ruedas traseras debido al exceso de carga	2.4	9
Fotografías del tractor trineumático	3.8	31
Inserción de el PTO en la parte posterior del chasis	5.4	54
Instalación de la transmisión de potencia PTO	6.1	61
La caja de velocidades trabaja en un solo plano con engranes deslizantes	3.1	23
Modelo final Plano XZ	6.6	62
Modelo final Plano YZ	6.5	62
Modificación en el chasis para cargar contrapesos en el centro de gravedad	5.6	55
Modificación en el chasis para cargar contrapesos en el frente	5.5	54
Modificación simétrica de las rastras	5.3	53
Modificaciones al chasis para aumentar la distancia entre el centro de gravedad y el centro de rotación de la rueda motriz	5.2	52
Modificaciones al chasis para colocar un motor en el frente	5.1	52
Plano del tractor trineumático, vista de elevación	3.4	26
Plano del tractor trineumático, vista de planta	3.5	27
Posiciones correctas e incorrectas de colocar el apero a un tractor	2.6	17
Proceso del diseño	1.1	3
Propiedades físicas del chasis	3.11	33
Propiedades físicas del ensamble total del tractor trineumático	3.13	34
Propuesta final del tractor trineumático. Vista isométrica inferior	6.7	63
Propuesta final del tractor trineumático. Vista isométrica superior	6.8	63
Rastra simétrica	4.6	40
Rastras con momento nulificado	4.7	41
		65

Sistema de referencia y momentos a corregir	4.12	46
Skidder de traccion 4x4, es el mas común, aunque existen también articulados	2.5	12
Tractor de cadena	2.1	8
Tractor de ruedas	2.2	8
Tractor modificado con el motor situado al frente	4.3	38
Tractor original con el motor situado debajo del conductor	4.3	38
Transmisión de la potencia desde el PTO hacia los discos de la rastra	4.8	42
Tren compuesto de engranes rectos	3.3	25
Ubicación de la dimensión x_T	4.4	39
Ubicación de los ejes y distancias tomadas a ellos del centro de gravedad	3.6	28
Ubicación del giroscopio.	4.13	49
Ubicaciones del motor, caja de velocidades y flecha cardán	6.2	61
Vista de los contrapesos colocados en el centro de gravedad del tractor	4.10	43
Vista isométrica del ensamble	3.12	34
Vista lateral derecha del tractor trineumático	3.2	24
Vuelco lateral de un tractor	2.3	8

A3

Lista de tablas

Tema de la figura	Número de Tabla	Página
Comparación de Jerarquías	5.1	56
Posiciones de las propuestas respecto del costo	5.2	57
Posiciones de las propuestas respecto de la facilidad de adaptación	5.3	57
Posiciones de las propuestas respecto de los efectos secundarios nocivos	5.4	58
Posiciones de las propuestas respecto de la efectividad	5.5	58
Valores de las propuestas de solución	6.1	60

Bibliografía

1. The Mechanics of tractor – Implement performance
MacMillan, R.H.
University of Melbourne
2. Diseño de Máquinas
Norton, Robert L.
Prentice Hall
3. Diseño de Maquinaria
Norton, Robert L.
Mc Graw Hill
4. Guía práctica para optimizar el rendimiento del tractor
John Deere
5. Traction and tractor performance
Zoz, Frank M.
Grisso, Robert D.
Agricultural Equipment Technology Conferency, 2003
6. Diseño y desarrollo de productos
Ulrich, Karl
Mc Graw Hill
7. Soil Compaction
Sage, Margaret.
Trabajo independiente.
8. Las Normas técnicas en materia de seguridad para el diseño y fabricación de las máquinas agrícolas
Marquez, L
AENOR.
9. Tractor Agrícola: PREVENCIÓN DE VUELCO
Boussinet Ruis Zorrilla, C.
Notas técnicas de Prevención, N° 259
10. Mecánica de materiales
Vable, Madhucar
Alfaomega

Referencias

[Aguirre., 2005]

<http://www.mailxmail.com/curso/empresa/ideas/capitulo9.htm>

Metodología del diseño

[Diez, Carlos. 2001]

<http://www.cfnavarra.es/INSL/doc/cursoagrario/pres.pdf>

Instituto Navarro de Salud Laboral

[Schuler, Ronald. 2008]

<http://www.wisc.edu/directories/results.php?name=RONALD%20T%20SCHULER&email=rschuler@wisc.edu>

Soil Compaction in alfalfa fields

[Norton, 1998]

Diseño de maquinaria.

[Marquez, 1984]

Las Normas técnicas en materia de seguridad para el diseño y fabricación de las máquinas agrícolas

[Boussinet, 1989]

Tractor Agrícola: PREVENCIÓN DE VUELCO.

Notas técnicas de Prevención.

[Vable, 2003]

Mecánica de materiales

Páginas de Internet consultadas

<http://www.mailxmail.com/curso/empresa/ideas/capitulo9.htm>

Metodología del diseño
Eduardo Aguirre Aguirre

http://www.kellytractor.com/esp/productos/agricultura/tractores_ruedas/challenger/ch300.aspx

Especificaciones de tractores agrícolas.

<http://www.infoagro.go.cr/documentospdf/dmango.pdf>

Estudios Económicos e Información
Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria
Orlando Vega Charpentier

<http://www.cfnavarra.es/INSL/doc/cursoagrario/m3ud2.pdf>

El Tractor agrícola
Instituto Navarro de Salud Laboral
Cuenca Álvarez, Isabel. Subdirección Técnica. INSHT.

<http://www.terralia.com/index.php?revista=62&articulo=402>

El lastre. ¿Cuándo un lastre deja de ser un lastre?
Linares Anegón, Pilar
Universidad Politécnica de Madrid

<http://www.cgs.cz/>

Tipos de ruedas

http://www.pami.ca/pdfs/guidebooks/is_farm_machinery_guarded_complete_guidebook.pdf

On Guard. Seguridad en el manejo de tractores

http://www.deere.com/es_ES/publications/campo_mecanica.html

Tips de manejo y Guías de lastre.

Nomenclatura

B	Boro
C	Carbono
Ca	Calcio
CG	Centro de gravedad
Cl	Cloro
Cu	Cobre
DCL	Diagrama de cuerpo libre
dt	Diferencial de tiempo
F	Fuerza
F _A	Fuerza aplicada en el punto A
F _B	Fuerza aplicada en el punto B
F _C	Fuerza aplicada en el punto C
Fe	Hierro
F _i	Fuerza inercial
H	Hidrógeno
h	Hora
H	Cantidad de movimiento angular
HP	Caballos de fuerza
I _X	Momento de inercia alrededor del eje X
I _{xy}	Producto de inercia en el plano XY
I _{xz}	Producto de inercia en el plano XZ
I _Y	Momento de inercia alrededor del eje Y
I _{yz}	Producto de inercia en el plano YZ
I _Z	Momento de inercia alrededor del eje Z
K	Potasio
Kg	Kilogramos
kg	Kilogramos
Km	Kilómetro
m ³	Metro cúbico
Mg	Magnesio
mg	Peso
mm	Milímetros
Mn	Manganeso
Mo	Molibdeno
M _r	Momento de encabritamiento
M _v	Momento de vuelco lateral
M _x	Momento aplicado en el eje X
N	Nitrógeno
O	Oxígeno
P	Fósforo
PTO	Salida de Potencia
PTR	Perfil tubular rectangular

RPM	Revoluciones por minuto
S	Azufre
y_A	Distancia medida en el plano XZ aplicada al punto A
y_B	Distancia medida en el plano XZ aplicada al punto B
y_C	Distancia medida en el plano XZ aplicada al punto C
Zn	Zinc
Σ	Sumatoria
v	Velocidad lineal
ω	Velocidad angular
Ω	Velocidad angular de un sistema de referencia