

UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN “OSCAR LUCERO MOYA”

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

Tesis de Diploma

**ANÁLISIS Y VALORACIÓN TENSIONAL DE LA BASE DEL
CORTACOGOLLO DESFIBRADOR DE LA COSECHADORA
CAÑERA CCA-5000 MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD.**

Autor: Antonio Gómez Martínez.

Tutor(es): MsC. Ing. Héctor Calzadilla Dubras.

MsC. Ing. Yunia Parra Escalona.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis tutores y familia por el apoyo y paciencia brindada durante todos estos años. A todos los profesores y compañeros que han ayudado a la realización de esta investigación. A Òrúnmilà y Ògún por siempre guiarme por el camino de la verdad.

RESUMEN

Dirigido a obtener una solución al problema planteado en esta investigación: Desconocimiento del estado tensional de la base del cortacogollo desfibrador de la cosechadora cañera CCA-5000, se realizó una investigación del estado actual del arte, en Cuba y en el mundo, relacionado con el desarrollo de la mecanización en la cosecha de la caña de azúcar, específicamente en la utilización del mecanismo cortacogollo.

Se propone como objetivo general de la investigación valorar la resistencia de la base del cortacogollo desfibrador de la cosechadora cañera CCA-5000 a través de la simulación numérica, con el empleo de las herramientas CAD, bajo las modificaciones de su modelo geométrico. Se determinaron las cargas actuantes en la base teniendo en cuenta los valores obtenidos en investigaciones realizadas en máquinas de este tipo en el campo de la extensometría. De esta manera, con el empleo de las herramientas de cálculo por el método de elementos finitos (MEF) en el software Solid Works en su versión 2013, se obtuvieron los valores de las tensiones de Von Mises y desplazamientos, al ser sometido el modelo a cargas extremas de explotación. Se determinó que no se produce situación comprometedoras para una rotura, pero pueden ocurrir altas deformaciones y desgastes excesivos en puntos de unión comprometiendo su fiabilidad.

Finalmente a partir de los resultados alcanzados, se realizó una propuesta de diseño validada bajo las mismas condiciones de explotación, para que la base del cortacogollo desfibrador de la cosechadora cañera CCA-5000 cumpla correctamente su destino de servicio.

SUMMARY

This work is directed to get an answer to the established problem in this investigation: How to achieve a design of the mechanism parallelogram of the shredder topper CCA-5000 for the Cuban sugarcane harvester, we made an investigation, keeping in mind the real conditions of exploitation in Cuba and the rest of the world related to the development of the mechanization in the crop of the cane sugar, specifically in the use of the topper mechanisms sugarcane harvesters of the different producers very well known in the world.

The general objective of the investigation is to perfect the topper mechanism for the Cuban sugar cane harvester CCA-5000 taking into account the numerical simulation and using the CAD tools. They were used data of previous investigations in the field of the extensometría. In this investigation the method of the finite elements was used in the software Solid Works in a version of 2013, we obtained the values of tensions Von Mises and displaces when the mechanism was subject to extreme loads of exploitation. It was determined that there is no a situation for a breaking but it may occur a deformation and excessive wear away in the union joints.

Finally, we proposed a right design under the same conditions of exploitation and that way the shredder topper CCA-5000 for the Cuban sugarcane harvester would work in a better way.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I. ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL	7
1.1. Breve reseña de la cosecha de caña mecanizada en Cuba.	7
1.2. La combinada cañera cubana, esquema tecnológico y unidades principales de la cosechadora cubana CCA-5000.	9
1.3. Las materias extrañas en la cosecha de la caña.	12
1.3.1. Influencia del cogollo en la producción de azúcar.	13
1.4. El mecanismo cortacogollo en la cosechadora cañera.	14
1.4.1. La utilización del cortacogollo en Cuba.	16
1.4.2. El mecanismo cortacogollo convencional.	16
1.4.3. El mecanismo cortacogollo desfibrador.	17
CAPITULO II. ANÁLISIS DE LA BASE DEL CORTACOGOLLO DESFIBRADOR DE LA COSECHADORA CAÑERA CCA-5000	20
2.1. Introducción.	20
2.2. Subensambles del cortacogollo desfibrador de la cosechadora cañera CCA-5000 y su interrelación como regulador de la altura de corte.	20
2.2.1. Características constructivas de la base.	21
2.3. Determinación de las cargas actuantes sobre el modelo.	22
2.4. Introducción al método de los elementos finitos.	34
2.4.1 Conceptos generales del método.	35
2.4.2. Aspectos a tener en cuenta para realizar un cálculo por MEF.	37
2.4.3. Importancia del análisis por MEF.	37
2.5. Análisis numérico de la base.	38
2.5.1. Selección del paquete CAD para el cálculo.	38
2.5.2. Modelado geométrico de la base en Solid Works.	39
2.5.3. Análisis de la base del cortacogollo desfibrador por el método de los elementos finitos.	40
2.5.3.1. Aplicación de las restricciones.	40
2.5.3.2. Aplicación de las cargas actuantes sobre el modelo.	41

2.5.3.3. Asignación del material.....	43
2.5.3.4. Mallado del modelo.....	43
2.5.3.5. Análisis de los resultados del cálculo pseudodinámico de la base del cortacogollo desfibrador de la cosechadora cañera CCA-5000 aplicando el método de los elementos finitos.	44
2.6. Propuesta para la disminución de las deformaciones y desgastes excesivos en la superficie de unión en la viga central de la base del cortacogollo desfibrador de la cosechadora cañera CCA-5000 con el cilindro hidráulico.	48
2.6.1. Análisis de los resultados del cálculo pseudodinámico a la propuesta planteada.	49
2.7. Análisis medioambiental del uso del cortacogollo desfibrador.....	50
2.8. Análisis económico del uso del cortacogollo.....	51
CONCLUSIONES.....	52
RECOMENDACIONES	54
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55
ANEXOS	58

INTRODUCCIÓN

Según la Food and Agriculture Organization (FAO), el mundo requerirá un importante aumento de la producción de alimentos en las próximas décadas para poder cubrir las necesidades de la población. El azúcar, por ejemplo, se encuentra dentro de este grupo necesario; y es en la actualidad uno de los más comunes en la dieta de todos los países, que la consideran como una de las principales fuentes de aporte energético para el organismo humano. (Abreu, 2013).

La cosecha de la caña puede realizarse de forma manual o mecanizada. La primera conlleva la utilización de herramientas cortantes manuales, como el machete, para llevar a cabo el corte de los tallos. La experiencia alcanzada por muchos años en la agroindustria azucarera ha demostrado mayores índices de eficiencia con la cosecha mecanizada, empleándose las cosechadoras de ciclo completo. Estas cosechadoras realizan el corte de la planta en trozos, limpian los tallos y los depositan a un medio de transporte.

En 1959 hay cambios radicales en el ámbito económico y social en Cuba. Se inicia una etapa nueva en el campo de la mecanización agrícola y es entonces cuando comienzan a utilizarse, a principios de la década de los 60, en mayor escala, las cosechadoras cañeras que mejoraron en sus inicios, de forma discreta, la producción de azúcar, estas producciones se incrementaron paulatinamente. Hoy se dispone en Cuba de cosechadoras de producción nacional del tipo KTP-2M que dan una respuesta productiva al AZCUBA a un nivel que es necesario mejorar, en este sentido se trabaja en el nuevo modelo de cosechadora cañera CCA-5000 que dispone de nuevos órganos de limpieza capaces de mejorar la calidad de la cosecha con la eliminación de un porcentaje elevado de materias extrañas.

El Centro de Desarrollo de la Maquinaria Agrícola (CEDEMA) en la provincia Holguín, en conjunto con empresas y centros de estudios, desarrolló esta cosechadora, siendo el modelo más avanzado diseñado en el país. Tras la fabricación del prototipo de la cosechadora CCA-5000, se realizaron pruebas en

los campos del central “Antonio Guiteras Holmes” en la provincia de Las Tunas, con resultados satisfactorios que avalan el diseño que continúa en desarrollo.

Según (Esquijarosa, 1981) y (Larrahondo, 1995) el cogollo disminuye la pureza de los guarapos de la caña cortada, disminuyendo grandemente los rendimientos azucareros. La mayor parte de las sustancias nitrogenadas se encuentran en el cogollo, las cuales constituyen un inconveniente en la clarificación del guarapo, por sus propiedades albuminosas, al reaccionar con los fenoles. El almidón se encuentra en el protoplasma de las hojas y otras partes del cogollo, los cuales reducen y dificultan la filtración durante el proceso químico, ya que se incorporan en los cristales del azúcar crudo. Estas razones ya son suficientes para evitar que la caña vaya al ingenio con cogollo.

Según (Buzzis, 1996) el cogollo que ingresa a la máquina por su sistema tecnológico es muy difícil de extraer por los sistemas de limpieza de las cosechadoras, y son transportados por esta causa hasta la industria grandes volúmenes de materias extrañas, esto repercute en los índices de aprovechamiento del transporte y la eficiencia de la propia industria, representando hasta el 76% de todas las materias extrañas presentes en los medios de transporte cañero.

Producto a esto, fue diseñado un mecanismo cortacogollo desfibrador instalado en el modelo de la cosechadora cañera CCA-5000, que en comparación con un cortacogollo de tipo convencional, desmenuza el cogollo antes de depositarlo en el campo facilitando las labores poscosecha.

El cortacogollo es ensamblado al chasis de la máquina por su base o soporte, donde el mecanismo paralelogramo puede desplazarse radialmente en un rango angular, respecto al eje x. Con este desplazamiento radial, accionado por un cilindro hidráulico fijado igualmente en la base, el cortacogollo puede alcanzar alturas de trabajo variables. Como el mecanismo cortacogollo incide directamente en los índices de calidad de la cosecha y el proceso productivo del azúcar, necesita un alto grado de confiabilidad técnica.

Producto a nuevas exigencias técnicas-explotativas impuestas por (Tarea Técnica, 2009) para la cosechadora CCA-5000, la altura de trabajo del cortacogollo debe aumentar, por lo que sus diseñadores variaron el modelo geométrico de la base, aumentando sus dimensiones verticalmente, entre otras modificaciones. El MsC. Ing. Manuel Ricardo Aballes dirigió su investigación, (Aballes, 2011), al perfeccionamiento del mecanismo paralelogramo del cortacogollo desfibrador para la cosechadora cañera cubana CCA-5000 mediante el cálculo por métodos numéricos y herramientas de optimización. A pesar de sus resultados satisfactorios, no realizó los cálculos para la base; además, el poco tiempo de prueba del prototipo no permitió conocer el estado tensional real a que está sometida, generándose una incertidumbre sobre su futuro comportamiento y planteando la necesidad de su cálculo, para garantizar su funcionamiento bajo las variaciones de su modelo geométrico.

De toda esta problemática, surge como **problema científico**: Desconocimiento del estado tensional de la base del cortacogollo desfibrador de la cosechadora cañera CCA-5000.

Se considera como el **objeto de investigación**: el mecanismo cortacogollo desfibrador de la cosechadora cañera CCA-5000 y el **campo de acción** se enmarca en su base.

Teniendo en cuenta lo relacionado anteriormente, se plantea la siguiente **hipótesis**:

Si se realiza el análisis y valoración del estado tensional de la base del cortacogollo desfibrador, partiendo de las modificaciones del modelo geométrico, entonces podrá conocerse la necesidad o no de su rediseño para incrementar la fiabilidad del cortacogollo desfibrador.

El **objetivo general** de la presente investigación: Valorar la resistencia de la base del cortacogollo desfibrador de la cosechadora cañera CCA-5000 a través de la simulación numérica, con el empleo de las herramientas CAD, bajo las modificaciones de su modelo geométrico.

Los **objetivos específicos** de esta investigación son:

- Estudiar el estado del arte de las cosechadoras cañeras, específicamente el mecanismo cortacogollo desfibrador y las tendencias actuales de los métodos de análisis numéricos.
- Determinar la magnitud de las fuerzas y cargas que actúan sobre la base del mecanismo cortacogollo desfibrador de la cosechadora cañera CCA-5000.
- Determinar el estado tensional de la base del cortacogollo desfibrador de la cosechadora cañera CCA-5000 a través de la modelación numérica.
- Valoración de los resultados.

Para el desarrollo de la presente investigación se emplean los siguientes **métodos científicos**:

Método histórico - lógico: para el estudio del estado del arte, como marco teórico referencial, que permite conocer la evolución del objeto de estudio en el tiempo y qué leyes o aspectos generales se exponen sobre el fenómeno que se estudia.

Método de análisis y síntesis: Se utiliza para ayudar a interrelacionar los efectos presentados que se estudian y que constituyen explicaciones al problema planteado en el trabajo. Esto facilita, con la búsqueda bibliográfica, conocer las diferentes alternativas empleadas para la modelación mediante el Método de Elementos Finitos (MEF).

Hipotético – Deductivo: Para proponer la hipótesis de la investigación a partir de deducciones en la relación de los conocimientos generales y datos que se tienen del fenómeno, se obtienen conclusiones iniciales a partir de las hipótesis formuladas, que posteriormente se puedan comprobar durante el desarrollo de la investigación.

Método de Elementos Finitos (MEF): Para el análisis de tensiones del mecanismo paralelogramo y la base del mecanismo cortacogollo desfibrador de

la cosechadora cañera CCA-5000, así como la realización del cálculo estático y pseudodinámico por el paquete para cálculos SolidWorks Simulation.

Resultados esperados: Determinar el estado tensional de la base del cortacogollo desfibrador de la cosechadora cañera CCA-5000.

CAPITULO I. ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL

CAPITULO I. ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL

1.1. Breve reseña de la cosecha de caña mecanizada en Cuba.

En el año 1889 en Luisiana, EUA, se lleva a cabo la primera prueba realizada con éxito por R.R. Wilson. Era una cortadora que utilizaba fuerza animal para su tracción, (ver Figura 1.1). Durante la primera década del siglo XX se continuó el perfeccionamiento de estas máquinas que tenían como rasgos comunes el uso de la fuerza animal, la baja productividad y realizaban una sola operación tecnológica, por lo cual el mérito principal de estos años fue el de llevar las ideas a la práctica y demostrar que era posible el corte mecanizado de la caña de azúcar. (Pérez, 1996).

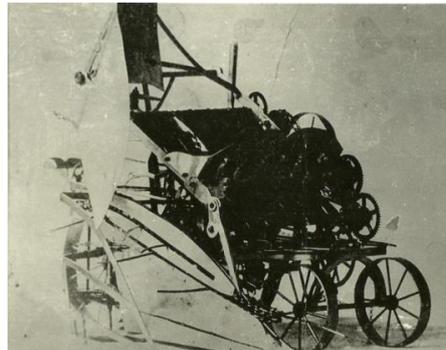


Figura 1. 1. Cortadora de tiro animal diseñada por R.R. Wilson, 1889, Luisiana, EUA. Fuente: Aballes, 2011.

El desarrollo de estas maquinarias fue muy pobre hasta inicios de la década del 20. Con la introducción del motor de combustión interna, como parte de las máquinas y su fuente de energía principal, se catalizó el desarrollo de la mecanización. En 1914 George D. Luce tras varios ensayos consideró que su máquina estaba lista para la comercialización, siendo la primera en el mundo en venderse en varios países.

Es obvio que desde la inclusión del motor de combustión interna en el año 1912 hasta la década del 50 del siglo XX, las máquinas transitaron por diferentes etapas evolutivas. Influyen principalmente, por una parte, los adelantos tecnológicos implantados en otras ramas como la militar y automotriz, y por otro, los avances que se fueron registrando en la ciencia en este campo, como son el uso de métodos estadísticos, perfeccionamiento de la técnica y medios de

medición, la modelación, la teoría de sistemas y métodos de cálculo más fiables, etc. (Aballes, 2011). Ejemplos de esta evolución son las cosechadoras FALKINER, TOFT (ver Anexo 1. a), MILLER-OWEN, HOWARD, MOLONEY, DON-MIZZI (ver Anexo 1. b), FAIRYMEAD, VENTON, CREBER, CASE, CAMECO, MASSEY FERGUSÓN, entre otras.

Con la consolidación de los consorcios industriales productores de máquinas y equipos agrícolas, ocurrida a inicios de los años 60, el mercado mundial de las cosechadoras de caña es controlado por las firmas CLAAS (Alemania), TOFT (Australia) y las CAMECO y THOMPSON (E.U.A), etc. En la actualidad destacan otras firmas como SANTAL, CASE (brasileñas), entre otras.

Las primeras pruebas de una máquina cortadora de caña en Cuba fueron realizadas en 1910 por A. N. Holdey cerca de Jovellanos en la provincia de Matanzas, esta máquina fue desechada por sus frecuentes roturas. De 1915 a 1918 se probó en diferentes partes del país la combinada Luce (autor George Don Liuse de EE.UU), la cual incluía sistema de limpieza, esta combinada fue utilizada solamente hasta 1920 debido fundamentalmente a su baja fiabilidad. (Estrada, 1999).

Cuando triunfó la Revolución en 1959, en Cuba no existía ningún grado de mecanización en el corte y alza de la caña. Fue en 1961 cuando se comenzó a probar las primeras máquinas cosechadoras, que cumplen parte del proceso tecnológico de la cosecha.

En 1963 se construyeron 680 máquinas cortadoras cubanas tipo ECEA-MC-1, diseñada sobre la base de las cosechadoras INCA de Sudáfrica. Este tipo de máquina cortaba a ras, descogollaba y dejaba caer en el suelo bultos de caña. Su desventaja consistía en la gran cantidad de hombres que necesitaba para limpiar la caña después que caía al suelo.

A partir de 1963 comenzó a destacarse la colaboración soviética con relación a las nuevas máquinas cosechadoras construidas en las fábricas de Zaporozhe y Ujtomsky, en la ciudad de Liubertsí, y Rosselmash en Rostov. Producto a esta colaboración, comprendida en el período 1963-1969, se recibieron en el país las

máquinas KT-1, KCT-1, alzadora soviética PG-0.5ST, CTK-1, KCC-1, KCC-1A, KTC-1A y KTS-1A.

El modelo KTP-1 inició su desarrollo en el año 1971, en la estación de pruebas de Artemisa, realizándose sus pruebas conjuntamente con un grupo de cosechadoras Massey Ferguson adquiridas en Australia y la Libertadora 1400 diseñada en Cuba y fabricada en la antigua R.F.A. Con la inauguración de la Empresa "LX Aniversario de la Revolución de Octubre" en julio de 1977 en Holguín, se inicia en nuestro país la producción seriada del modelo KTP-1, dando respuesta positiva a las necesidades crecientes de mecanización de la cosecha de la caña de azúcar por las implicaciones económicas y de humanización del trabajo que esto representaba. (Estrada, 1999).

Tienen una notable influencia en nuestras cosechadoras cañera actuales la combinada autopropulsada Libertadora 1 400 fabricada por la firma Claas con patente cubana, la combinada autopropulsada Massey-Ferguson modelo MF-201 Cañe Commander fabricada en Australia, la combinada de arrastre soviética KCT-1 y la combinada autopropulsada cubano-soviética KTP-1.

El continuo desarrollo en el país de estas máquinas dio lugar al desarrollo y fabricación de las cosechadoras cañeras KTP-2, KTP-2M, KTP-3, KTP-23, CCA-3, C-4000 y CCA-5000; para competir en el Mercado Internacional y cumplir con las expectativas de nuestro principal cliente, AZCUBA.

1.2. La combinada cañera cubana, esquema tecnológico y unidades principales de la cosechadora cubana CCA-5000.

Según (Sánchez, 2014), las cosechadoras cañeras deben de cumplir con un conjunto de exigencias agrotécnicas que norman y definen las operaciones, modo y calidad del trabajo que brindan. Para cumplir estas exigencias agrotécnicas, la cosechadora de caña debe ser capaz de cortar, seccionar, limpiar (deshojar, cortar el cogollo y lanzar todas las impurezas al campo) y entregar a un medio de transporte situado independientemente, un volumen de caña determinado bajo condiciones de explotación impuestas. Existen diferentes diseños de estas cosechadoras, la presente investigación se centra en los

sistemas y esquemas tecnológicos implementados para el diseño de las cosechadoras cubanas.

Las cosechadoras cubanas han mantenido a lo largo de su evolución, una estructura y esquema tecnológico similar. Su mayor desarrollo se ha centrado en los sistemas oleohidráulicos de la máquina. La figura 1.2 muestra las unidades ensambladas de la cosechadora CCA-5000.

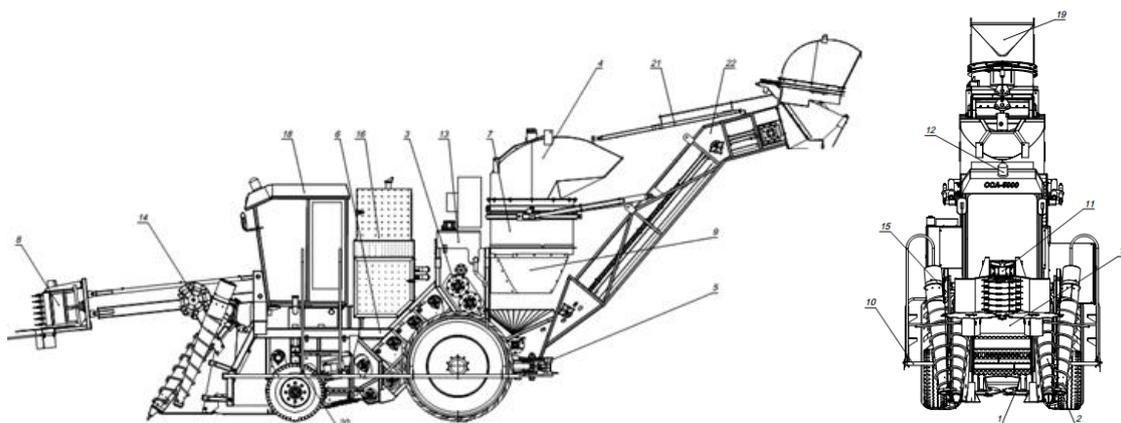


Figura 1.2. Unidades ensambladas de la cosechadora CCA-5000: (1) cortador base; (2) sección receptora; (3) aparato trozador; (4) extractor primario; (5) viga de giro; (6) chasis; (7) cámara de limpieza; (8) cortacogollo; (9) canasta; (10) aparta cañas; (11) sistema hidráulico; (12) sistema eléctrico; (13) depósitos de aceite; (14) cuchilla lateral derecha; (15) cuchilla lateral izquierda; (16) instalación del motor; (17) depósito de combustible; (18) cabina; (19) extractor secundario; (20) sistema direccional; (21) tirante; (22) transportador de descarga. Fuente: Archivo personal.

La gran mayoría de estas uniones ensambladas pueden agruparse en los siguientes sistemas principales: sistema receptor, sistema de limpieza y sistema de descarga.

El sistema receptor tiene las siguientes funciones: delimita el surco de trabajo de la máquina, recoge la caña y la entrelaza entre los surcos, guía la caña hacia el aparato de corte inferior, corta los tallos en su parte inferior, transporta ordenadamente los tallos cortados hacia el picador, efectúa una primera limpieza

de tierra e impurezas a través de los tambores transportadores y troza la masa cosechada.

El sistema de limpieza elimina las impurezas de la caña. Inicialmente el aparato cortacogollo separa el cogollo de la caña, evitando que entre a la sección receptora, este órgano puede estar o no en el sistema. A la salida del seccionador, los trozos de cañas y hojas caen en los transportadores donde la masa trozada se ve sometida a una corriente de aire producida por ventiladores. Esto ocasiona la separación de las hojas e impurezas de la masa vegetal trozada, la cual cae ya limpia en el transportador de descarga.

El transportador de descarga debe girar 180°, accionado por cilindros hidráulicos, lo que facilita la entrega de caña al transporte. La estera del transportador se pone en movimiento normalmente por un hidromotor que a través de una reducción acciona al eje motor de la estera. En la parte inferior de este transportador se encuentra un embudo que permite cierta acumulación de caña; así, cuando el transporte se encuentra convenientemente situado debajo del conductor de descarga de la estera, esta se pone en funcionamiento para transportar la caña que se ha ido acumulando en el embudo.

Para una mejor comprensión de lo antes expuesto, en la Figura 1.3 se ilustra el esquema tecnológico de la cosechadora CCA-5000

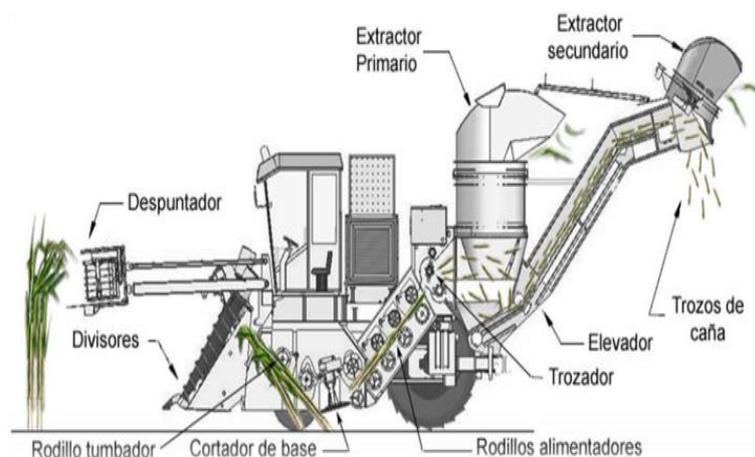


Figura 1.3. Esquema tecnológico de la cosechadora CCA-5000. Fuente: Archivo personal.

1.3. Las materias extrañas en la cosecha de la caña.

Los indicadores de eficiencia en la cosecha pueden resumirse en: materias extrañas, pérdidas en cosecha, consumo de combustible, rendimientos productivos de la cosechadora y costos de la cosecha. Las materias extrañas tienen una gran influencia en estos indicadores, siendo el conjunto de materias formado por pajas, hojas, cogollo y tierra, que contiene la caña enviada al central. El cogollo (*Saccharum officinarum*) es la parte superior de la caña de azúcar, vegetativamente es la parte más joven. Tiene una longitud que puede variar entre los 10 y los 30 cm, con una constitución física similar al tallo de caña, pero su jugo es rico en no azúcares y pobre en sacarosa.

(Aballes, 2011) plantea en su investigación que los volúmenes de materia extraña dependen del rendimiento de la caña y de la variedad de la misma, como se muestra en la Tabla 1. 1.

Tabla 1. 1. Residuos cañeros en rendimientos cañeros desde 62 hasta 104 t/ha. Fuente: Ricardo, 2011.

Autor	Residuos t/ha
Rodríguez	10,49
Oliveira	11,5... 18,5
Molina y Viveros	25...30
Hassuani	14,4

Delgado plantea los siguientes valores de proporciones y composiciones de las materias extrañas (ver Tabla 1.2.).

(Zayas, 1997) en su investigación, muestra la composición de las materias extrañas en los medios de transporte, donde las referidas al cogollo representan entre el 64% y el 76 % de la población completa.

Analizando lo anteriormente expuesto se concluye que el cogollo representa el mayor constituyente de las materias extrañas en la cosecha y medios de transporte, siendo el principal aspecto a controlar.

Tabla 1.2. Proporción y composición de las materias extrañas. Fuente: Delgado.

Componente	Peso (Kg)	Proporción (%)	M.E.
Caña	45	90	
Paja	1	2	20
Cogollo	3	6	60
Hierba	0,5	1	10
Tierra	0,5	1	10
Total	50	100	100

1.3.1. Influencia del cogollo en la producción de azúcar.

Según (Larrahondo, 1995) y (Esquijarosa, 1981) la materia extraña que es trasladada al ingenio, especialmente el cogollo, tiene una notable incidencia en los niveles de color y de impurezas. Introducen constituyentes químicos que afectan el proceso de cristalización y la calidad final del azúcar, tales como polisacáridos solubles, fenoles y amino-nitrógenos.

Algunos polisacáridos como los almidones reducen y dificultan la filtración durante el proceso químico, ya que se incorporan en los cristales del azúcar crudo. Las dextranas son polisacáridos que incrementan la viscosidad de los jugos, creando problemas en los evaporadores y tachos; además causan elongación de los cristales incrementa las pérdidas de sacarosa en forma de mieles y aguas de lavado, y generan ácidos orgánicos y otros productos coloreados que inducen un descenso del pH, ocasionando un aumento en la tasa de inversión de la sacarosa por catálisis ácida. Algunos fenoles son incoloros dentro de la planta, pero se oxidan o reaccionan con aminos-nitrogenadas produciendo sustancias coloreadas. Delgado expone en su investigación que los bajos niveles de brix y sacarosa en el cogollo hacen disminuir la pureza de los jugos (ver Anexo 2).

Según (Zayas, 1997), al eliminar el cogollo mejora la calidad de la cosecha, que conllevaría a un mayor aprovechamiento de los medios de transporte; según su investigación por cada 100 carretas que se utilicen en esta actividad se

ahorrarían 20, es decir, un ahorro del 20% de los medios de transporte al elevar el aprovechamiento de la capacidad de carga.

1.4. El mecanismo cortacogollo en la cosechadora cañera.

La separación de este elevado por ciento de cogollo dentro de las materias extrañas a procesar por la máquina, por medios neumáticos, elevan considerablemente las pérdidas de caña ya que sus propiedades aerodinámicas y peso específico son semejantes a los del trozo del tallo de la caña, su eliminación admite solamente la acción de los medios mecánicos. (Aballes, 2011).

Sobre los años cuarenta, del pasado siglo, hace aparición el cortacogollo como un órgano de limpieza auxiliar en la cosechadora cañera. En sus inicios era un aparato muy complejo, accionado por cadenas, e ineficiente. Su función es cortar el cogollo de la caña, depositándolo en el campo y evitando que entre a la sección receptora y por consiguiente al proceso productivo. Eliminando en un alto por ciento la introducción del cogollo al proceso productivo, se disminuyen las pérdidas anteriormente expuestas en el subepígrafe 1.3.1.

El mecanismo cortacogollo ha sido objeto de constante desarrollo y han surgido diferentes variantes, tanto de mecanismos cortacogollo convencionales, (ver Figura 1.4), como mecanismos cortacogollo desfibradores, (ver Figura 1.5). Según (Zayas, 1997), existen otros mecanismos como aparato por impacto, aparato de aplastamiento, aparato de corte rotativo pero no serán tratados en la investigación producto a su escaso uso en la práctica.



Figura 1.4. Cortacogollo convencional en cosechadora cañera CASE. Fuente: Archivo personal.



Figura 1.5. Cortacogollo desfibrador en cosechadora cañera CCA-5000. Fuente: Archivo personal.

La diferencia entre los mecanismos convencional y desfibrador consiste en que al ser separadas grandes cantidades de materia extraña, referidas al cogollo, por un mecanismo cortacogollo de tipo convencional, los cogollos son cortados solamente por su parte inferior y depositados en el campo de forma íntegra, trayendo como consecuencia que los productores tengan que enfrentarse a este residuo cañero, utilizando implementos adicionales en las labores de poscosecha, con el encarecimiento de dichas labores y del azúcar como producto. Con un cortacogollo de tipo desfibrador el cogollo antes de ser depositado en el campo es triturado, facilitando las labores poscosecha y por ende su integración al campo como aporte de materia orgánica, mejorando las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo.

El uso extensivo de los accionamientos oleohidráulicos y la gran ventaja de las transmisiones hidráulicas, de poder transmitir potencia a grandes distancias, revolucionó literalmente este órgano de trabajo. Estos factores permitieron el desarrollo y modernización del mecanismo en un medio donde existe polvo abrasivo y las transmisiones mecánicas están desprotegidas.

La eficiencia de los mismos depende fundamentalmente de las características de la caña de azúcar, en cuanto a su erección y crecimiento no uniforme, profundidades de siembra, condiciones de cultivo y variedades de caña, acción de los vientos y las lluvias durante el periodo de crecimiento, la introducción de la tecnología de cosecha basada en la quema de la caña y la destreza del operador.

1.4.1. La utilización del cortacogollo en Cuba.

Algunos prototipos de cortacogollos fueron instalados en cosechadoras como la KCT-1 y en el prototipo experimental KTP-2. Producto a la baja eficiencia que muchos le atribuían y la subvaloración de los efectos nocivos del cogollo en el proceso productivo del azúcar, no fue hasta principios de la década de los años noventa, que se instaló por primera vez el aparato cortacogollo como un órgano opcional de limpieza en el esquema tecnológico de la máquina de producción nacional.

En el año 1991 se introdujo por primera vez en el país un modelo de cortacogollo convencional, que fue instalado en una de las máquinas en producción seriada KTP-2 (ver Anexo 3. a). Posteriormente en el año 1995 se fabricaron 25 de estos aparatos que se instalaron en cosechadoras KTP-2M (ver Anexo 3. b). (Aballes, 2011). Estos aparatos eran de tipo convencionales. Con las pruebas de laboratorio, recogidas por (Buzzi, 1996) en las áreas de la empresa azucarera “Cristino Naranjo” de la provincia de Holguín, se comprobó que se produjo un incremento de la caña limpia dentro de la materia prima de un 5 % y una reducción del contenido de cogollo de un 3,6%.

En 1999 fue diseñado el cortacogollo desfibrador que se instaló en la cosechadora cañera C-4000, producto a las ventajas que brinda en relación a uno de tipo convencional, explicadas en el epígrafe 1.4.

1.4.2. El mecanismo cortacogollo convencional.

El principio de funcionamiento de los aparatos cortacogollos en las diferentes máquinas que se producen a nivel mundial es, en esencia, muy parecido al igual que el que se instaló en la cosechadora cubana, la diferencia entre ellos es el anclaje en la máquina y la forma de algunas de sus piezas componentes.

El diseño de estos aparatos ha evolucionado radicalmente, al poder acoplarse la toma de potencia (hidromotor) directamente en el órgano de trabajo, haciéndolo más sencillo y compacto.

El cortacogollo derivó en un órgano con dos discos alimentadores que girando en sentido inverso encauzan los cogollos hacia la zona de ataque de un disco de

corte, que los lanza ya troceados a la zona cosechada, inalcanzable para la máquina en la siguiente pasada. En ocasiones, para aumentar o hacer más efectivo el corte, se utiliza una placa de contracorte y se emplean hidromotores en el disco de corte que gira en ambas direcciones, para cuando se cosecha en sentido inverso. (Aballes, 2011).

Al seccionar el cogollo una sola vez, este queda en el campo cosechado íntegramente, convirtiéndose en un obstáculo de gran importancia, porque dificulta las labores de poscosecha que se llevan a cabo para el constante mejoramiento de los rendimientos de los campos cañeros, independientemente de la tecnología que posea el agricultor.

1.4.3. El mecanismo cortacogollo desfibrador.

El mecanismo cortacogollo desfibrador aparece como alternativa para un manejo de los residuos en el campo producto a la cosecha, aligerando las labores poscosecha, ya que generalmente se hace necesario la quema de los campos por la gran cantidad de materia vegetal acumulada, para cuya extracción se necesita el uso de diferentes implementos, encareciendo aún más el producto. La quema del campo influye negativamente al dañar el medio ambiente y sobre la propia plantación cañera, que pierde ese abono orgánico formado paulatinamente con el correr del tiempo.

El mismo está provisto de dos discos alimentadores y una torre de discos que soportan las cuchillas, estas se encargan de desmenuzar en pequeñas partes el cogollo y depositarlo en la parte cosechada del campo al igual que el mecanismo cortacogollo convencional. Este desmenuzamiento facilita una rápida incorporación de la masa vegetal al suelo en forma de materia orgánica lo que aumenta la fertilidad del suelo que hace que la producción se incremente y/o mantenga, obteniendo con ello estabilidad económica para el productor. Esto es de vital importancia debido a que en la práctica del monocultivo, como la caña de azúcar, existe una alta extracción de nutrientes que provocan un empobrecimiento de la fertilidad, la cual hay que restaurar mediante la aplicación de fertilizantes inorgánicos o abonos orgánicos, y con la utilización de este tipo

de mecanismo cortacogollo se facilitan las labores de cultivo poscosecha, sin los indeseables embotamientos de los implementos agrícolas. (Aballes, 2011).

El aparato cortacogollo implementado en la cosechadora CCA-5000, fue inicialmente utilizado en la cosechadora C-4000, que luego de un continuo desarrollo derivó en el modelo actual.

Muchos han sido los autores que han desarrollado el tema, sin embargo no se encontró documentación referente a la base portante del mecanismo. Por todo lo expuesto anteriormente, en el siguiente capítulo se realiza un análisis pseudodinámico de la base del cortacogollo desfibrador de la cosechadora cañera CCA-5000 aplicando el método de los elementos finitos, con la utilización de herramientas CAD.

CAPITULO II. ANÁLISIS DE LA BASE DEL CORTACOGOLLO DESFIBRADOR DE LA COSECHADORA CAÑERA CCA-5000

CAPITULO II. ANÁLISIS DE LA BASE DEL CORTACOGOLLO DESFIBRADOR DE LA COSECHADORA CAÑERA CCA-5000

2.1. Introducción.

Para satisfacer las necesidades surgidas en los diversos procesos productivos, deben realizarse complejos cálculos, hasta obtener un diseño que cumpla las normativas impuestas. (Dobrovolski, 1980) plantea que para lograr el diseño de estos elementos debe estudiarse las condiciones que deben de cumplir, examinar los métodos, reglas y estándares de la proyección, que aseguren las formas y dimensiones más útiles y ventajosas de los elementos. Además de la elección de los materiales necesarios, el grado de precisión, la calidad de las superficies y la determinación de los requisitos técnicos de fabricación.

Según (Calzadilla, 2005), el diseño de estructuras representa una de las tareas más épicas de los diseñadores, ya que es la parte de una construcción o artefacto mecánico, encargada de mantener su forma ante acciones exteriores de todo tipo (fuerzas, variaciones de temperatura, movimientos impuestos, etc.).

Dentro de los métodos desarrollados para el cálculo de estructuras de piezas los más concretos son los métodos numéricos, desarrollados y popularizados coincidiendo con el propio desarrollo de las computadoras, en la segunda mitad del siglo pasado. El más general y versátil de los métodos numéricos es el de los elementos finitos (MEF), estando a disposición de los usuarios una gran cantidad de programas que permiten realizar cálculos con elementos finitos.

El MEF permite realizar un modelo matemático de cálculo del sistema real, más fácil y económico de modificar que un prototipo. Sin embargo, no deja de ser un método aproximado de cálculo debido a las hipótesis básicas del método. Los prototipos, por lo tanto, siguen siendo necesarios pero en menor número, ya que el primero puede acercarse bastante más al diseño óptimo. (Calzadilla, 2005).

2.2. Subensambles del cortacogollo desfibrador de la cosechadora cañera CCA-5000 y su interrelación como regulador de la altura de corte.

El cortacogollo desfibrador de la cosechadora cañera CCA-5000 está constituido por cuatro subensambles principales (ver Figura 2.1):

1. Base o soporte.
2. Mecanismo paralelogramo.
3. Cilindro hidráulico.
4. Órgano de trabajo.

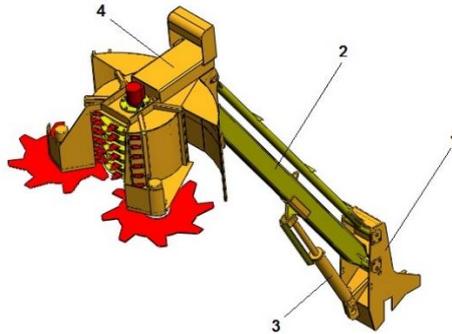


Figura 2.1. Subensambles del conjunto base-mecanismo paralelogramo. Fuente: Archivo personal.

Los subensambles están unidos entre sí por pasadores donde al fijar la base al chasis de la cosechadora, el mecanismo paralelogramo puede desplazarse radialmente en un rango angular, respecto al eje x de los orificios de sujeción en la base. La altura de trabajo es definida por este rango angular de giro, que es proporcional al desplazamiento del vástago del cilindro hidráulico, por lo que el mismo puede efectuar la regulación de la altura de corte del mecanismo de forma sencilla, rápida, segura, sin escalonamientos y con una amplia gama de regulación.

2.2.1. Características constructivas de la base.

El ensamble de la base o soporte del cortacogollo desfibrador (ver Figura 2.2), está compuesto por 13 piezas, constituidas por chapas de diferentes espesores, unidas entre sí por métodos de soldadura, garantizando una mayor rigidez del ensamblaje. Las dos planchas (1) de 10 mm, paralelas entre sí, están unidas por los refuerzos (2, 3, 4 y 6) de 6 mm. Las cuatro orejas (8) de 6 mm refuerzan los orificios de (1), donde acoplan los pasadores que unen los dos subconjuntos principales. La plancha trasera (5) brinda un refuerzo adicional al subconjunto,

ya que en ella están acopladas (1, 2, 3, 6, 7 y 8). (7) es la viga central donde acopla el cilindro hidráulico, con un espesor de 25 mm.

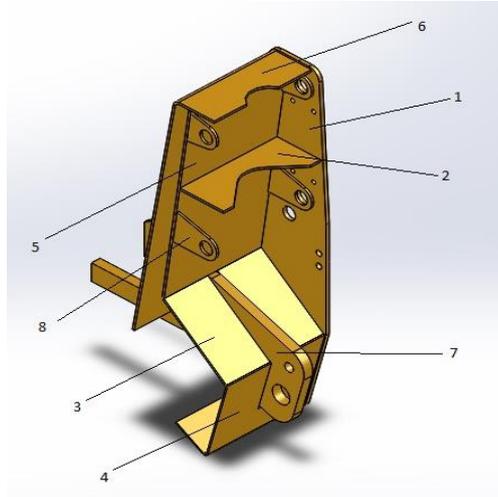


Figura 2.2. Piezas que componen el ensamble de la base del cortacogollo desfibrador. Fuente: Archivo personal.

El subconjunto es quien acopla a todo el conjunto al chasis de la cosechadora, el mismo se suelda al chasis por los vértices inferiores de las piezas (1) y (7).

2.3. Determinación de las cargas actuantes sobre el modelo.

Para determinar las cargas que actúan en el modelo se realizó el pesaje del mecanismo cortacogollo desfibrador y se obtuvo el valor de 325 kg.

Según (Estrada, 1999), para realizar el análisis de la resistencia y rigidez de los elementos, desde el inicio de su diseño, es necesario introducir en los modelos físico-matemáticos de análisis, las cargas estáticas multiplicadas por los respectivos coeficientes dinámicos, obtenidos de las evaluaciones experimentales de modelos de máquinas análogas.

Para analizar el conjunto bajo pruebas más reales de funcionamiento, se calculó la carga pseudodinámica producto al peso del órgano de trabajo, teniendo en cuenta el coeficiente dinámico k , obtenido en las pruebas extensométricas realizadas al modelo KTP-2M con mecanismo cortacogollo, (Estrada, 1999). Esta fuerza se calculó como:

$$F = p * k = 715 \text{ kg} \quad (1)$$

Donde:

$p = 325 \text{ kg}$: Peso del cortacogollo desfibrador.

Si se miden las aceleraciones en diferentes puntos de la máquina, se conocen los coeficientes dinámicos a que están sometidas las partes de esta, donde fueron colocados los acelerómetros.

$k = 2,2$: Coeficiente dinámico, en el mecanismo cortacogollo, (Estrada, 1999).

Según las investigaciones de (Aballes, 2011), esta carga se aplica en las coordenadas $X = 491,23 \text{ mm}$; $Y = 35,81 \text{ mm}$; $Z = 0 \text{ mm}$ (coordenadas del centro de masa del órgano de trabajo, ver Figura 2.3 a); y demuestra cómo incide esta carga en el mecanismo paralelogramo (ver Figura 2.2 b).

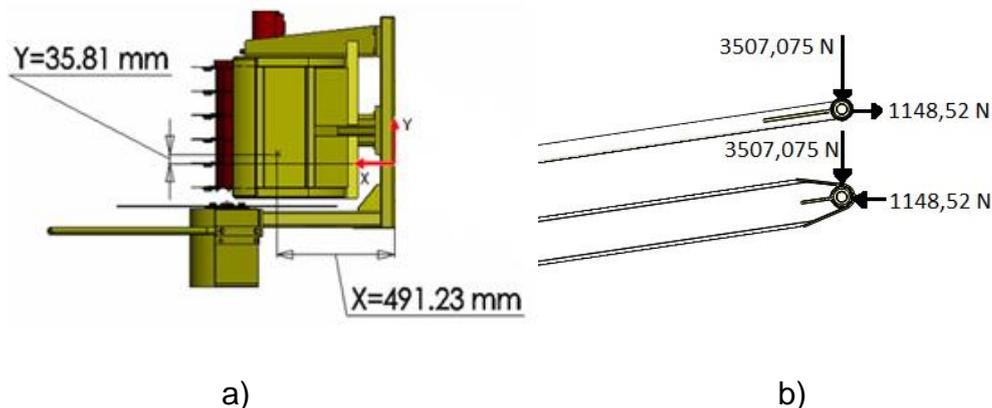


Figura 2.3 a) Coordenadas del centro de masa del mecanismo cortacogollo (órgano de trabajo). Fuente: Aballes, 2011. b) Cargas actuantes en el mecanismo paralelogramo producto al peso del órgano de trabajo. Fuente: Archivo Personal.

Para el análisis de la base se plantearon tres variantes en relación a la operación que realiza la cosechadora. En la primera variante se simula el trabajo de la cosechadora (altura máxima del cortacogollo), en la segunda variante la posición horizontal del mecanismo paralelogramo y la tercera el transporte de la cosechadora (altura mínima del cortacogollo).

Para el cálculo de las cargas actuantes en la base se realizaron los esquemas de cálculos para cada variante, suponiendo a los dos tirantes del mecanismo

paralelogramo como vigas simplemente apoyadas y se analizaron por independientes.

Variante 1

Tirante 1

El esquema de cálculo se muestra en la Figura 2.4:

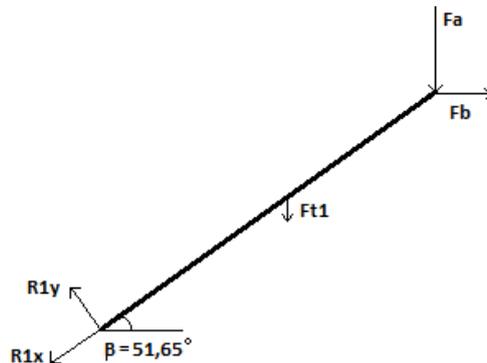


Figura 2.4. Esquema de cálculo del tirante 1 para la variante 1. Fuente: Archivo personal.

Donde:

β : Ángulo de inclinación de los tirantes con respecto al centro de coordenadas de la cosechadora.

$R1x$; $R1y$: Reacciones en los apoyos.

$Fa = 3507,075$ N; $Fb = 1148,52$ N: Fuerzas ocasionadas por el peso del órgano de trabajo.

$Ft1 = mt1 * g$: Peso del tirante 1.

Siendo:

$mt1 = 55,52$ kg : Masa del tirante.

$$Ft1 = 55,52 \text{ kg} * 9,81 \frac{m}{s^2} = 544,651 \text{ N}$$

Descomponiendo las fuerzas se obtiene:

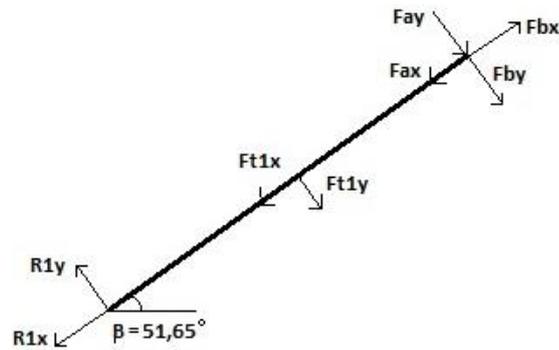


Figura 2.5. Descomposición de las fuerzas en el esquema de cálculo del tirante 1 para la variante 1. Fuente: Archivo personal.

Donde:

$$Ft1x = Ft1 * \text{sen}\beta = 427,134 \text{ N}$$

$$Ft1y = Ft1 * \text{cos}\beta = 337,936 \text{ N}$$

$$Fax = Fa * \text{sen}\beta = 2750,371 \text{ N}$$

$$Fay = Fa * \text{cos}\beta = 2176,012 \text{ N}$$

$$Fbx = Fb * \text{cos}\beta = 712,614 \text{ N}$$

$$Fby = Fb * \text{sen}\beta = 900,709 \text{ N}$$

Planteando las ecuaciones de equilibrio se obtiene:

$$\Sigma Fx = 0$$

$$R1x + Ft1x + Fax - Fbx = 0$$

$$R1x = -427,134 \text{ N} - 2750,371 \text{ N} + 712,614 \text{ N}$$

$$R1x = -2464,891 \text{ N}$$

$$\Sigma Fy = 0$$

$$R1y - Ft1y - Fby - Fay = 0$$

$$R1y = 337,936 \text{ N} + 2176,371 \text{ N} + 900,709 \text{ N}$$

$$R1y = 3415,016 \text{ N}$$

Tirante 2

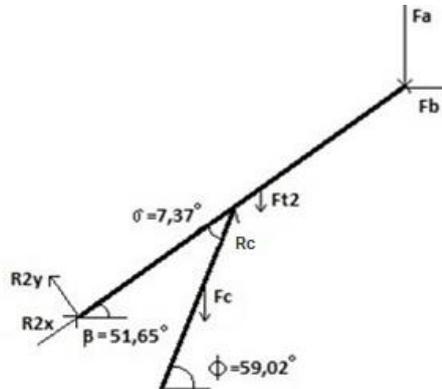


Figura 2.6. Esquema de cálculo del tirante 2 para la variante 1. Fuente: Archivo personal.

Donde:

ϕ : Ángulo de inclinación del cilindro hidráulico con respecto al centro de coordenadas de la cosechadora.

δ : Ángulo de inclinación del cilindro hidráulico con respecto al tirante 2.

R3: Reacciones en el cilindro hidráulico.

$$F_{t2} = m_{t2} * g = 82,52 \text{ kg} * 9,81 \frac{m}{s^2} = 809,521 \text{ N: Peso del tirante 2.}$$

$$F_c = m_c * g = 35 \text{ kg} * 9,81 \frac{m}{s^2} = 343,35 \text{ N: Peso del cilindro hidráulico.}$$

Descomponiendo las fuerzas para el tirante 2 se obtiene:

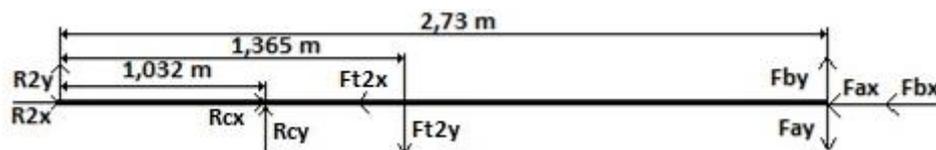


Figura 2.7. Descomposición de las fuerzas en el esquema de cálculo del tirante 2 para la variante 1. Fuente: Archivo personal.

Donde:

$$Ft2x = Ft2 * \text{sen}\beta = 634,855 \text{ N}$$

$$Ft2y = Ft2 * \text{cos}\beta = 502,278 \text{ N}$$

Planteando las ecuaciones de equilibrio se obtiene:

$$\Sigma MR = 0$$

$$Rcy * 1,032 \text{ m} - Ft2y * 1,365 \text{ m} - Fay * 2,73 \text{ m} + Fby * 2,73 = 0$$

$$Rcy = \frac{[502,278 \text{ N} * 1,365 \text{ m} + 2,73 \text{ m}(2176,012 \text{ N} - 900,709 \text{ N})]}{1,032 \text{ m}}$$

$$Rcy = 4037,971 \text{ N}$$

$$\Sigma Fy = 0$$

$$R2y + Rcy - Ft2y - Fay + Fby = 0$$

$$R2y = -4037,971 \text{ N} + 502,278 \text{ N} + 2716,012 \text{ N} - 900,709 \text{ N}$$

$$R2y = -1720,39 \text{ N}$$

Como:

$$Rcy = Rc * \text{sen}\sigma$$

Entonces:

$$Rc = \frac{Rcy}{\text{sen}\sigma} = 31478,688 \text{ N}$$

$$Rcx = Rc * \text{cos}\sigma = 31218,625 \text{ N}$$

$$\Sigma Fx = 0$$

$$R2x + Rcx - Ft2x - Fax - Fbx = 0$$

$$R2x = -31218,625 \text{ N} + 634,855 \text{ N} + 712,614 \text{ N} + 2750,371 \text{ N}$$

$$R2x = -27120,785 \text{ N}$$

Descomponiendo las fuerzas para el cilindro se obtiene:

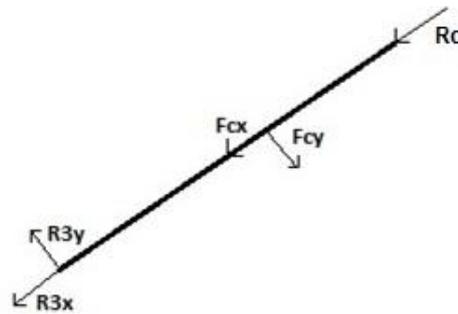


Figura 2.8. Descomposición de las fuerzas en el esquema de cálculo del cilindro para la variante 1. Fuente: Archivo personal.

Donde:

$$F_{cx} = F_c * \cos\phi = 176,735 \text{ N}$$

$$F_{cy} = F_c * \sin\phi = 294,370 \text{ N}$$

Planteando las ecuaciones de equilibrio se obtiene:

$$\Sigma F_y = 0$$

$$R_{3y} - F_{cy} = 0$$

$$R_{3y} = 294,370 \text{ N}$$

$$\Sigma F_x = 0$$

$$R_{3x} + F_{cx} + R = 0$$

$$R_{3x} = -176,735 \text{ N} - 31478,688 \text{ N}$$

$$R_{3x} = -31652,423 \text{ N}$$

Variante 2

Tirante 1

El esquema de cálculo se muestra en la Figura 2.9:

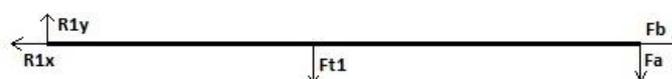


Figura 2.9. Esquema de cálculo del tirante 1 para la variante 2. Fuente: Archivo personal.

Planteando las ecuaciones de equilibrio se obtiene:

$$\Sigma F_x = 0$$

$$R1x - Fb = 0$$

$$R1x = 1148,52 \text{ N}$$

$$\Sigma F_y = 0$$

$$R1y - Ft1 - Fa = 0$$

$$R1y = 544,651 \text{ N} + 3507,075 \text{ N}$$

$$R1y = 4051,726 \text{ N}$$

Tirante 2

El esquema de cálculo se muestra en la Figura 2.10:

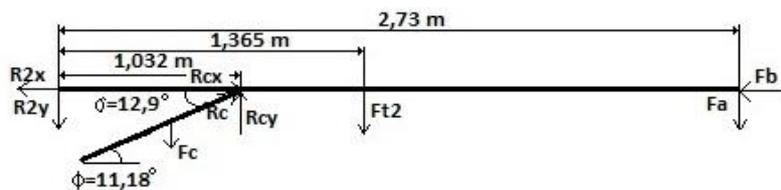


Figura 2.10. Esquema de cálculo del tirante 2 para la variante 2. Fuente: Archivo personal.

Planteando las ecuaciones de equilibrio se obtiene:

$$\Sigma MR = 0$$

$$Rcy * 1,032 \text{ m} - Ft2 * 1,365 \text{ m} - Fa * 2,73 \text{ m} = 0$$

$$Rcy = \frac{[809,521 \text{ N} * 1,365 \text{ m} + 3507,075 \text{ N} * 2,73 \text{ m}]}{1,032 \text{ m}}$$

$$Rcy = 10348,168 \text{ N}$$

$$\Sigma F_y = 0$$

$$R2y - Rcy + Ft2 + Fa = 0$$

$$R2y = 10348,168 \text{ N} - 809,521 \text{ N} + 3507,075 \text{ N}$$

$$R2y = 6031,572 \text{ N}$$

Como:

$$Rcy = Rc * \text{sen}\sigma$$

Entonces:

$$Rc = \frac{Rcy}{\text{sen}\sigma} = 46352,352 \text{ N}$$

$$Rcx = Rc * \text{cos}\sigma = 45182,479 \text{ N}$$

$$\Sigma Fx = 0$$

$$R2x - Rcx + Fb = 0$$

$$R2x = 45182,474 \text{ N} - 1148,52 \text{ N}$$

$$R2x = 44033,954 \text{ N}$$

Descomponiendo las fuerzas para el cilindro se obtiene:

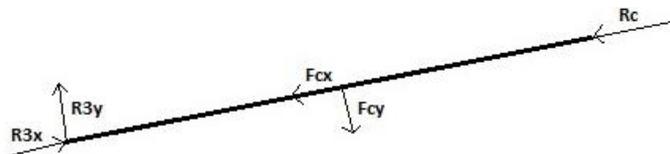


Figura 2.11. Descomposición de las fuerzas en el esquema de cálculo del cilindro para la variante 2. Fuente: Archivo personal.

Donde:

$$Fcx = Fc * \text{cos}\phi = 67,250 \text{ N}$$

$$Fcy = Fc * \text{sen}\phi = 340,267 \text{ N}$$

Planteando las ecuaciones de equilibrio se obtiene:

$$\Sigma Fy = 0$$

$$R3y - Fcy = 0$$

$$R3y = 340,267 \text{ N}$$

$$\Sigma Fx = 0$$

$$R3x - Fcx - Rc = 0$$

$$R3x = 67,250 N + 46352,352 N$$

$$R3x = 46419,575 N$$

Variante 3

Tirante 1

El esquema de cálculo se muestra en la Figura 2.12:

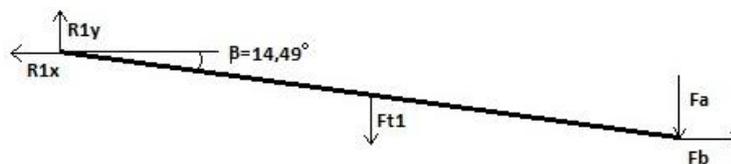


Figura 2.12. Esquema de cálculo del tirante 1 para la variante 3. Fuente: Archivo personal.

Descomponiendo las fuerzas se obtiene:

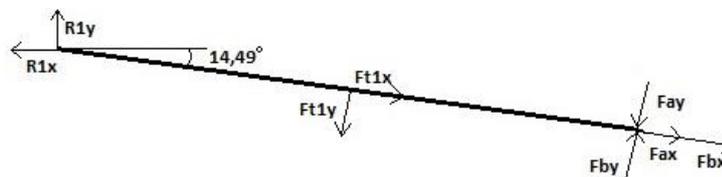


Figura 2.13. Descomposición de las fuerzas en el esquema de cálculo del tirante 1 para la variante 3. Fuente: Archivo personal.

Donde:

$$Ft1x = Ft1 * \text{sen}\beta = 136,277 N$$

$$Ft1y = Ft1 * \text{cos}\beta = 527,326 N$$

$$Fax = Fa * \text{sen}\beta = 877,508 N$$

$$Fay = Fa * \text{cos}\beta = 3395,519 N$$

$$Fbx = Fb * \text{cos}\beta = 1111,987 N$$

$$Fby = Fb * \text{sen}\beta = 287,372 N$$

Planteando las ecuaciones de equilibrio se obtiene:

$$\Sigma F_x = 0$$

$$R_{1x} - F_{bx} - Ft_{1x} - Fax = 0$$

$$R_{1x} = 1111,987 \text{ N} + 136,277 \text{ N} + 877,508 \text{ N}$$

$$R_{1x} = 2125,772 \text{ N}$$

$$\Sigma F_y = 0$$

$$R_{1y} - Ft_{1y} - Fay + Fby = 0$$

$$R_{1y} = 527,326 \text{ N} + 3395,519 \text{ N} - 287,372 \text{ N}$$

$$R_{1y} = 3635,473 \text{ N}$$

Tirante 2

El esquema de cálculo se muestra en la Figura 2.14:

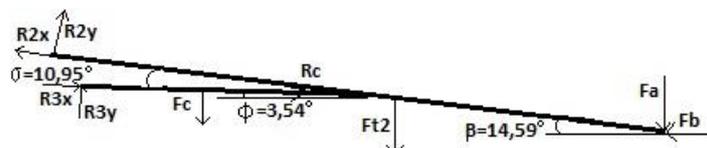


Figura 2.14. Esquema de cálculo del tirante 2 para la variante 3. Fuente: Archivo personal.

Descomponiendo las fuerzas para el tirante 2 se obtiene:

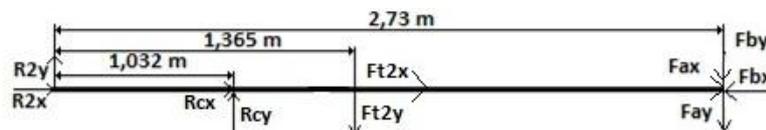


Figura 2.15. Descomposición de las fuerzas en el esquema de cálculo del tirante 2 para la variante 3. Fuente: Archivo personal.

Donde:

$$Ft_{2x} = Ft_2 * \text{sen}\beta = 202,551 \text{ N}$$

$$Ft_{2y} = Ft_2 * \text{cos}\beta = 783,771 \text{ N}$$

Planteando las ecuaciones de equilibrio se obtiene:

$$\Sigma MR = 0$$

$$R_{cy} * 1,032 \text{ m} - Ft_{2y} * 1,365 \text{ m} - F_{ay} * 2,73 \text{ m} - F_{by} * 2,73 = 0$$

$$R_{cy} = \frac{[783,771 \text{ N} * 1,365 \text{ m} + 2,73 \text{ m}(3395,519 \text{ N} + 287,372 \text{ N})]}{1,032 \text{ m}}$$

$$R_{cy} = 10779,205 \text{ N}$$

$$\Sigma Fy = 0$$

$$R_{2y} + R_{cy} - Ft_{2y} - F_{ay} - F_{by} = 0$$

$$R_{2y} = -10779,205 \text{ N} + 783,771 \text{ N} + 3395,519 \text{ N} + 287,372 \text{ N}$$

$$R_{2y} = -6312,543 \text{ N}$$

Como:

$$R_{cy} = R_c * \text{sen}\sigma$$

Entonces:

$$R_c = \frac{R_{cy}}{\text{sen}\sigma} = 56746,906 \text{ N} \text{ y } R_{cx} = R_c * \text{cos}\sigma = 55713,733 \text{ N}$$

$$\Sigma Fx = 0$$

$$R_{2x} + R_{cx} + Ft_{2x} + F_{ax} - F_{bx} = 0$$

$$R_{2x} = -55713,733 \text{ N} - 202,551 \text{ N} - 877,508 \text{ N} + 1111,987 \text{ N}$$

$$R_{2x} = -55681,765 \text{ N}$$

Descomponiendo las fuerzas para el cilindro se obtiene:

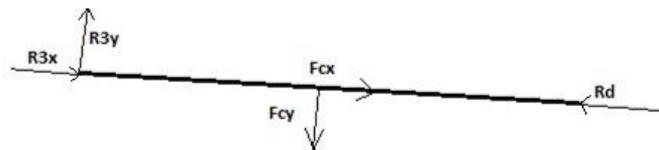


Figura 2.16. Descomposición de las fuerzas en el esquema de cálculo del cilindro para la variante 3. Fuente: Archivo personal.

Donde:

$$F_{cx} = F_c * \cos\phi = 21,416 \text{ N}$$

$$F_{cy} = F_c * \sin\phi = 346,188 \text{ N}$$

Planteando las ecuaciones de equilibrio se obtiene:

$$\Sigma F_y = 0$$

$$R_{3y} - F_{cy} = 0$$

$$R_{3y} = 346,188 \text{ N}$$

$$\Sigma F_x = 0$$

$$R_{3x} + F_{cx} - R_c = 0$$

$$R_{3x} = -21,416 \text{ N} + 56746,906 \text{ N}$$

$$R_{3x} = 56725,49 \text{ N}$$

2.4. Introducción al método de los elementos finitos.

Los métodos de discretizado espacial y la aproximación numérica, para encontrar soluciones a problemas ingenieriles, han sido empleados desde hace varios siglos, aunque el nombre del método de los elementos finitos se ha establecido recientemente.

Actualmente el método se encuentra en una fase de gran expansión: es ampliamente utilizado en la industria y continúan apareciendo cientos de trabajos de investigación en este campo. Los ordenadores han aportado el medio eficaz de resolver la multitud de ecuaciones que se plantean en el MEF, cuyo desarrollo práctico ha ido caminando parejo a las innovaciones obtenidas en el campo de la arquitectura de los ordenadores. Entre éstas, además de permitir la descentralización de los programas de EF, ha contribuido a favorecer su uso a través de sofisticados paquetes gráficos que facilitan el modelado y la síntesis de resultados. Hoy en día ya se concibe la conexión inteligente entre las técnicas de análisis estructural, las técnicas de diseño (CAD), y las técnicas de fabricación. (A. Carnicero).

2.4.1 Conceptos generales del método.

La idea general del método de los elementos finitos es la división de un medio continuo en un conjunto de pequeños elementos interconectados por una serie de puntos llamados nodos. Las ecuaciones que rigen el comportamiento del medio continuo regirán también el del elemento. De esta forma se consigue pasar de un sistema continuo (infinitos grados de libertad), que es regido por una ecuación diferencial o un sistema de ecuaciones diferenciales, a un sistema con un número de grados de libertad finito cuyo comportamiento se modela por un sistema de ecuaciones algebraicas, lineales o no. (L.L. Otero, 2006).

Para construir un modelo numérico se define un número finito de puntos, los cuales podrán estar unidos después por líneas para formar superficies y sólidos y de esta manera la geometría a estudiar. Los nodos se encuentran en las fronteras de los elementos que se generaron por la discretización del continuo, además son los responsables de mantener la continuidad al mantener unidos a los elementos. El sistema es ahora un conjunto de elementos mediante nodos. (Guerrero, 1999).

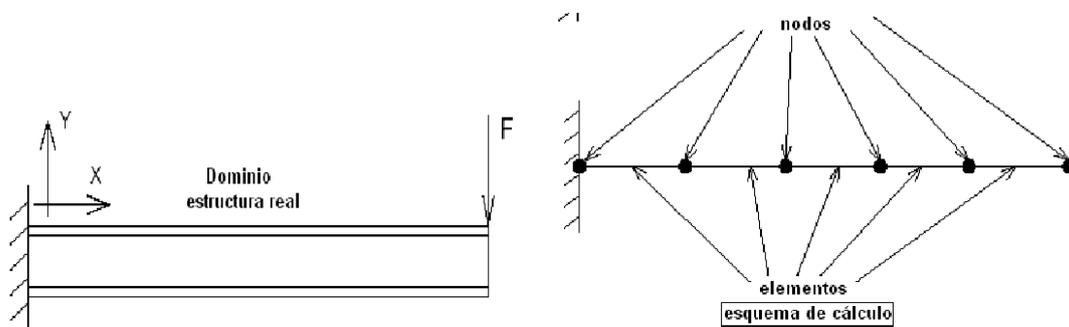


Figura 2.17. Estructura real y esquema de cálculo. Fuente: Guerrero, 1999.

Sobre estos nodos se materializan las incógnitas fundamentales del problema. En el caso de elementos estructurales estas incógnitas son los desplazamientos nodales, ya que a partir de éstos se pueden calcular el resto de las incógnitas que sean de interés: tensiones, deformaciones,... A estas incógnitas se les denomina grados de libertad de cada nodo del modelo. Los grados de libertad de un nodo son las variables que nos determinan el estado y/o posición del nodo. (Calzadilla, 2005).

Según A. Carnicero, en cualquier sistema a analizar se puede distinguir entre:

- Dominio. Espacio geométrico donde se va a analizar el sistema.
- Condiciones de contorno. Variables conocidas y que condicionan el cambio del sistema: cargas, desplazamientos, temperaturas, voltaje, focos de calor,...
- Incógnitas. Variables del sistema que se desea conocer después de que las condiciones de contorno han actuado sobre el sistema: desplazamientos, tensiones, temperaturas,...

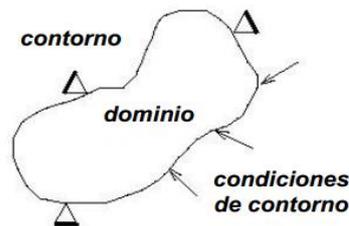


Figura 2.18. Sistema de análisis. Fuente: A. Carnicero.

El sistema debido a las condiciones de contorno: empotramiento, fuerza puntual y temperatura, evoluciona hasta un estado final. En este estado final, conocidos los valores de los grados de libertad de los nodos del sistema se puede determinar cualquier otra incógnita deseada: tensiones, deformaciones, etc. También sería posible obtener la evolución temporal de cualquiera de los grados de libertad. Planteando la ecuación diferencial que rige el comportamiento del continuo para el elemento, se llega a fórmulas que relacionan el comportamiento en el interior del mismo con el valor que tomen los grados de libertad nodales. Este paso se realiza por medio de unas funciones llamadas de interpolación, ya que éstas “interpolan” el valor de la variable nodal dentro del elemento. El problema se formula en forma matricial debido a la facilidad de manipulación de las matrices mediante ordenador. Conocidas las matrices que definen el comportamiento del elemento (en el caso estructural serán las llamadas matrices de rigidez, amortiguamiento y masa, aunque esta terminología ha sido aceptada en otros campos de conocimiento) se ensamblan y se forma un conjunto de

ecuaciones algebraicas, lineales o no, que resolviéndolas proporcionan los valores de los grados de libertad en los nodos del sistema. (Calzadilla, 2005).

2.4.2. Aspectos a tener en cuenta para realizar un cálculo por MEF.

Cuando se pretende resolver un problema mediante cualquier programa de Elementos Finitos, es necesario seleccionar el estudio adecuado para poder determinar las incógnitas que sean de interés. Se debe simplificar al máximo la geometría real del problema en función del objetivo del análisis, ya que la mayoría de los detalles son superfluos; para ello se deben buscar posibles simetrías, antisimetrías, axisimetrías del problema, problemas de tensión o deformación planas, eliminación de detalles superfluos: radios de acuerdo, entallas,... Se debe estudiar qué condiciones de contorno se imponen sobre el sistema y la forma de aplicarlas, si son o no importantes o influyentes en el tipo de análisis que se va a realizar y si representan las condiciones reales del problema. Para poder saber si se ha realizado correctamente el análisis o si representa bien la realidad, se debe tener una idea de cómo va a responder.

Según (Calzadilla, 2005), los software de análisis por MEF siguen una secuencia lógica de cálculo (ver figura 2.19) para poder solucionar el problema. Al analizar la secuencia lógica de cálculo se aprecia que una introducción lo más certera posible de los datos del problema, conduce a un cálculo más exacto; siendo esta la tarea principal de quien realiza el estudio, para lograr un cálculo exitoso.

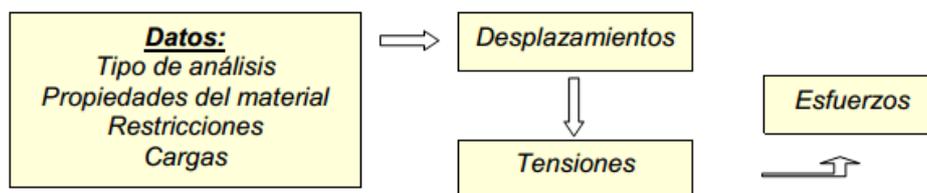


Figura 2.19. Secuencia de cálculo del Solid Works Simulation. Fuente: Calzadilla, 2005.

2.4.3. Importancia del análisis por MEF.

En un mercado cada vez más competitivo, la reducción en tiempo de desarrollo de los nuevos productos así como en sus costes, ha pasado de ser una exigencia a convertirse en una necesidad. En este contexto es de vital importancia el

conocimiento y utilización de todas aquellas tecnologías que faciliten un trabajo más rápido, eficaz y seguro. La simulación numérica por computadora ha supuesto un gran avance en este sentido, puesto que permite verificar el comportamiento físico de un nuevo producto antes de que exista físicamente mediante la realización de "ensayos sobre prototipos virtuales". Esta simulación permite:

- Tomar decisiones de diseño adecuadas en etapas muy tempranas del desarrollo.
- Explorar un mayor número de soluciones.
- Reducir y optimizar la realización de ensayos sobre prototipos físicos, evitando pruebas innecesarias y aumentar el valor de la experimentación, lo cual le proporciona más tiempo para idear nuevos diseños (todo lo cual reduce los costos).
- Minimizar el plazo de respuesta en caso de que se presenten incidencias en servicio. (Calzadilla, 2005).

2.5. Análisis numérico de la base.

2.5.1. Selección del paquete CAD para el cálculo.

Para la realización del cálculo por métodos numéricos de la presente investigación, se empleó el software CAD mecánico en 3D Solid Works en su versión 2013 y el paquete de análisis por elementos finitos Solid Works Simulation.

El software CAD Solid Works es una aplicación de automatización de diseño mecánico que les permite a los diseñadores croquizar ideas con rapidez, experimentar con operaciones y cotas, y producir modelos y dibujos detallados. Solid Works emplea un procedimiento de diseño en 3D. Al diseñar una pieza, desde el croquis inicial hasta el resultado final, está creando un modelo en 3D. A partir de este modelo, puede crear dibujos en 2D o componentes de relaciones de posición que consten de piezas o subensambles para crear ensamblajes en 3D. También puede crear dibujos en 2D a partir de los ensamblajes en 3D.

El Solid Works Simulation es un software muy flexible, que cuenta con una interfaz gráfica de Windows, muy fácil de utilizar, que incluye amplias capacidades de análisis estático de tensiones, desplazamientos, vibraciones, pandeo, térmico, no lineal, dinámica, fatiga, electromagnetismo, fluidos, optimización y muchos más. (Abreu, 2013).

2.5.2. Modelado geométrico de la base en Solid Works.

Las piezas son los bloques principales de los modelos de Solid Works. Cada uno de los ensamblajes y dibujos que se crean están compuestos por piezas. La creación de un modelo empieza con un croquis. A partir del croquis, se pueden crear operaciones tales como base/saliente y cortar, extruir, revolución, barrer, recubrir, redondeo, chaflán y ángulo de salida, taladrado, vaciado, nervio, matriz y simetría; algunas de estas operaciones no requieren del coquizado para su ejecución. Se pueden combinar dos o más operaciones para crear una pieza. Después, se combinan y establecen relaciones de posición en relación con el resto de los componentes, definiendo la dirección permitida de movimiento de los componentes, para crear un ensamblaje. Los componentes de un ensamblaje pueden incluir tanto piezas individuales como otros ensamblajes, denominados “subensambles”.

Las soldaduras unen sólidos entre sí. Pueden variar como consecuencia de la composición química, temperatura, material base, geometría de la soldadura, zona afectada por el calor, microfisuras, tensión residual y geometría de la pieza. Estas variaciones hacen que las simulaciones de soldaduras sean muy difíciles. En general, la soldadura actúa como una ruta de carga pero las tensiones en ella o a su alrededor son cuestionables. (Ayuda de Solid Works Simulation, 2013).

Con el cálculo realizado en la presente investigación, se desea conocer el comportamiento del modelo en general, no las cargas puntuales en los cordones de soldadura, excluyéndose del modelo los mismos. Las caras unidas mediante soldaduras pueden simularse por parte de conectores rígidos y conjunto de contactos rígidos, los cuales simulan su efecto en el resto del modelo. Un contacto global “unión rígida” une sólidos entre sí con rigidez infinita, comportándose el ensamble como una única pieza. Para facilitar los cálculos en

vez de modelar un ensamble, compuesto por 13 piezas, se modeló como una única pieza (ver Figura 2.20). La pieza se creó partiendo de un croquis o boceto 2D, que con posterioridad y aplicando las diferentes operaciones referidas con anterioridad, llegaron a generar la pieza en 3D. Algunas operaciones repetitivas que estaban espaciadas a una distancia determinada, fueron generadas una primera vez y luego repetidas con la operación matriz local. La pieza fue generada respetando la propia estructura del proyecto.

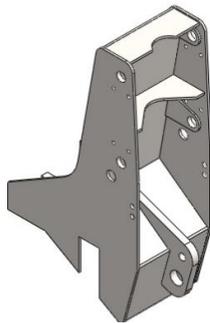


Figura 2.20. Vista isométrica del modelo en Solid Works. Fuente: Archivo personal.

2.5.3. Análisis de la base del cortacogollo desfibrador por el método de los elementos finitos.

2.5.3.1. Aplicación de las restricciones.

Para realizar el estudio de la forma más certera posible, se escogió un esquema de cálculo donde se considera limitado el movimiento de la pieza, todas las traslaciones son iguales a cero. Partiendo de esto, en las zonas donde se acopla la base con el chasis de la cosechadora, se colocaron restricciones a la traslación en todos los ejes (ver Figura 2.21).

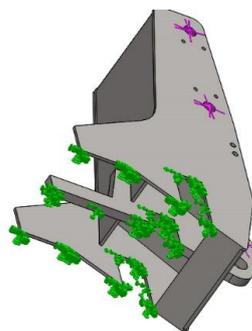


Figura 2.21. Restricciones del modelo. Fuente: Archivo personal.

2.5.3.2. Aplicación de las cargas actuantes sobre el modelo.

Las cargas calculadas en el epígrafe 2.3, para el equilibrio del mecanismo paralelogramo, se manifiestan en la base en el mismo plano de aplicación, sentido inverso y en el caso de R1 y R2 la mitad de su magnitud en cada superficie de aplicación de carga, ya que son simétricas. Para cada variante planteada el sentido, magnitud y plano varían; por lo que se realizó la aplicación de cargas a cada variante por independiente.

Fueron generados planos, que coincidieran con los ejes de las superficies cilíndricas de aplicación de cargas, con un ángulo de inclinación respecto a la horizontal (eje x del centro de coordenadas de la cosechadora) para cada variante (ver Figura 2.22 a). Fueron generados otros planos, que coincidieran con los ejes de las superficies cilíndricas de aplicación de cargas y fueran perpendiculares a los primeros mencionados.

Luego de crear los croquis pertinentes (ver Figura 2.22 b), fueron proyectados en las superficies de aplicación de cargas para generar las líneas de partición (ver Figura 2.22 a); quedando las superficies particionadas en cuatro.

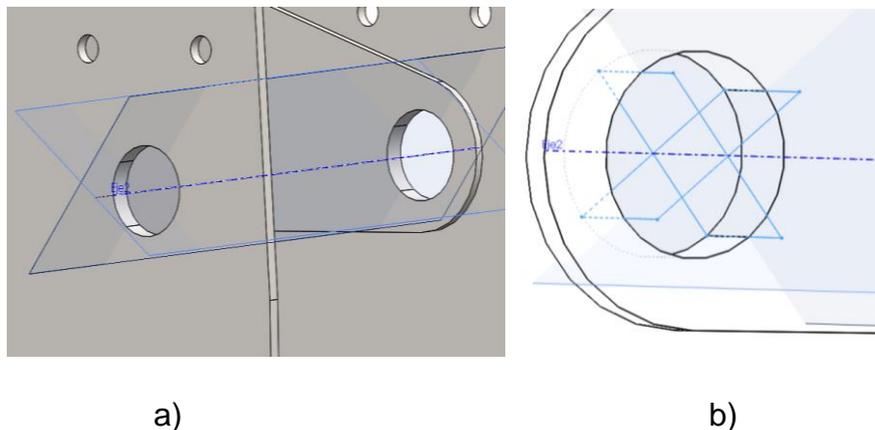


Figura 2.22 a) Planos y líneas de partición; b) Croquis para la proyección de las líneas de partición. Fuente: Archivo personal.

Las cargas fueron aplicadas en todas las superficies cilíndricas de aplicación de cargas de la base en dos de las cuatro superficies particionadas, superior o inferior, en relación al sentido de la carga (ver Figura 2.23).

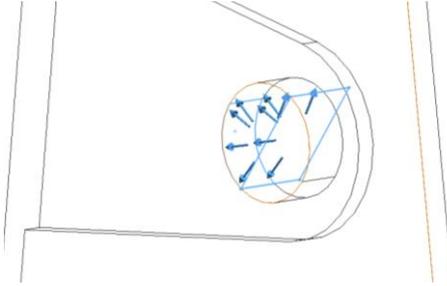


Figura 2.23. Aplicación de la carga R2y en las superficies particionadas. Fuente: archivo personal.

La magnitud, sentido y plano de todas las cargas actuantes en el modelo, para las cuatro variantes, se muestran en la Figura 2.24. (a; b; c; d).

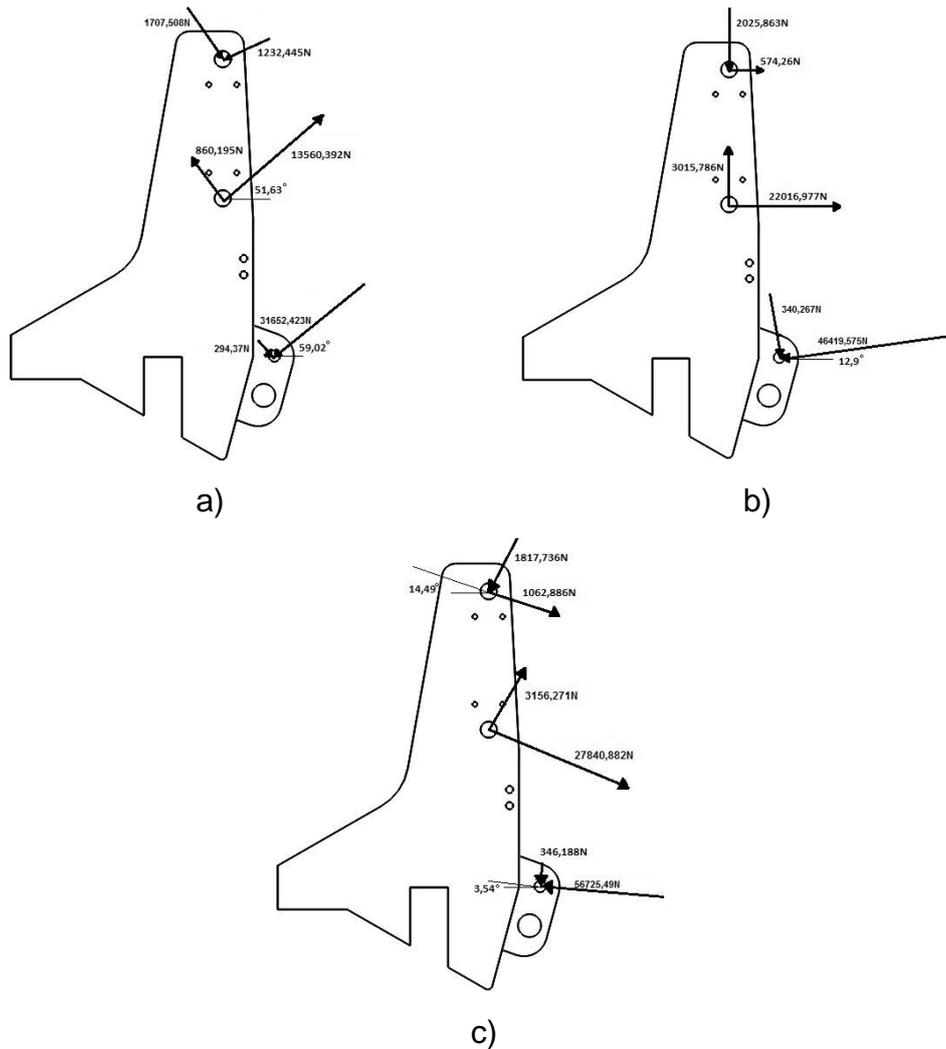


Figura 2.24. Cargas actuantes en el modelo. a) variante 1; b) variante 2; c) variante 3. Fuente: Archivo personal.

2.5.3.3. Asignación del material.

La respuesta de la pieza o ensamblaje a analizar depende del material del que se compone. Solid Works Simulation debe conocer las propiedades elásticas de ese material. El modelo se consideró con propiedades físicas isotrópicas propias del material de acero de construcción St-37.2 (material muy utilizado en nuestra industria hoy en día). Dichas propiedades fueron investigadas (ver Tabla 2.1) según bibliografías y tomadas de la biblioteca de materiales del Solid Works Simulation versión 2013.

Tabla 2.1. Propiedades del acero St-37.2. Fuente: Solid Works Simulation, versión 2013.

Límite elástico [MPa]	Módulo de elasticidad [N/m²]	Coefficiente de Poisson	Densidad de masa [kg/m³]	Límite de tracción [N/mm²]
235	210000	0,28	7858	425

2.5.3.4. Mallado del modelo.

El mallado es un paso crucial en el análisis. El mallado automático en Solid Works Simulation genera una malla basada en el tamaño del elemento finito, la tolerancia y los parámetros de control de dicha malla. El software estima un tamaño de elemento global tomando en cuenta consideraciones tales como volumen, área superficial y otros detalles geométricos. (Calzadilla, 2005)

Se realizó el mallado del modelo (ver Figura 2.25), la característica del mallado se muestra en la Tabla 2.2.

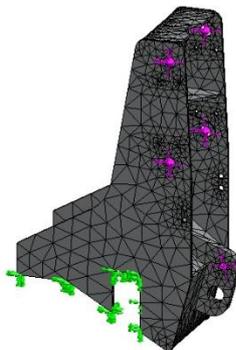


Figura 2.25. Mallado del modelo. Fuente: Archivo personal.

Tabla 2.2. Detalles del mallado del modelo. Fuente: Solid Works Simulation versión 2013.

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado	Malla basada en curvatura
Puntos Jacobianos	4 puntos
Control de malla	Definida
Tamaño máx. de elemento	59,7383 mm
Tamaño mín. de elemento	11,9477 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Números total de nodos	17339
Números total de elementos	8620
% de elementos distorsionados (Jacobianos)	0

2.5.3.5. Análisis de los resultados del cálculo pseudodinámico de la base del cortacogollo desfibrador de la cosechadora cañera CCA-5000 aplicando el método de los elementos finitos.

Es importante distinguir entre análisis y diseño. Análisis es el proceso que permite determinar la respuesta de un sistema específico a un entorno definido por cargas y restricciones. Diseño, por otra parte, es el proceso de definición del sistema. El análisis, por tanto, es un importante aspecto del proceso de diseño, el mismo determina si la pieza o conjunto de piezas cumple con el factor de seguridad mínimo bajo unas condiciones de servicio determinadas. Además de los requisitos de seguridad, muchas veces existen otros factores que afectan la forma final del diseño. El diseño se modifica continuamente hasta cumplir un criterio aceptable de calidad, definido por el factor de seguridad, costos, conveniencia y estética. (Aballes, 2011).

A los modelos generados se les aplicó un estudio pseudodinámico. Una vez realizados los cálculos, se pudieron obtener los valores de las tensiones

máximas de Von Mises, los desplazamientos, deformaciones y la valoración de los resultados de los coeficientes de seguridad.

Para el análisis de la base del cortacogollo desfibrador de la cosechadora cañera CCA-5000 en un estudio pseudodinámico hay que tener en consideración algunas cuestiones determinantes y es que, en el mismo, no se da importancia a las frecuencias propias del sistema a analizar, ni el amortiguamiento del material usado y se parte de la suposición de que las cargas que actúan son aplicadas lentamente hasta que alcanzan las magnitudes máximas. Este análisis pseudodinámico se realiza para determinar las posibles causas que originarían una deformación en el modelo.

En la Tabla 2.3 se muestran los valores de tensión calculados para las variantes analizadas.

Tabla 2.3. Resultado del análisis pseudodinámico de la base del cortacogollo desfibrador en las diferentes variantes propuestas. Fuente: Solid Works Simulation versión 2013.

Posición del cortacogollo	Valor de la tensión [MPa]	Factor de seguridad (FDS)
Variante 1 (<i>Altura máxima</i>)	120,335	1,952
Variante 2 (<i>Horizontal</i>)	162,725	1,444
Variante 3 (<i>Altura mínima</i>)	210,308	1,117

Luego de realizado el análisis pseudodinámicos a las primeras dos variantes (ver figuras 2.26; 2.27), los valores obtenidos y reflejados en la Tabla 2.3 revelan que en las zonas donde ocurren las mayores tensiones (Von Mises), producidas por la acción del peso del órgano de trabajo, no sobrepasan el límite de fluencia del material, con un FDS mínimo de 1,952 para la primera variante y 1,444 para la segunda; por lo que se comprobó que no se produce situación comprometedor para una rotura bajo los efectos de la carga determinada para estas situaciones.

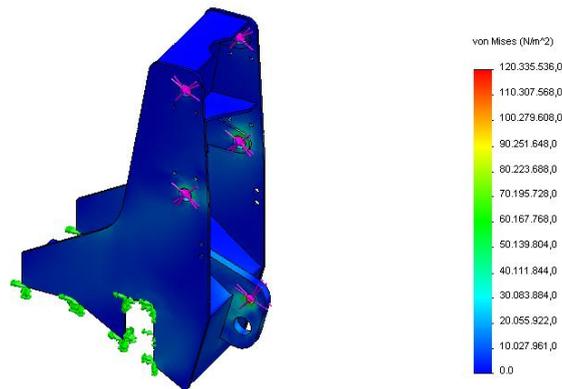


Figura 2.26. Análisis pseudodinámico, variante 1. Fuente: Archivo personal.

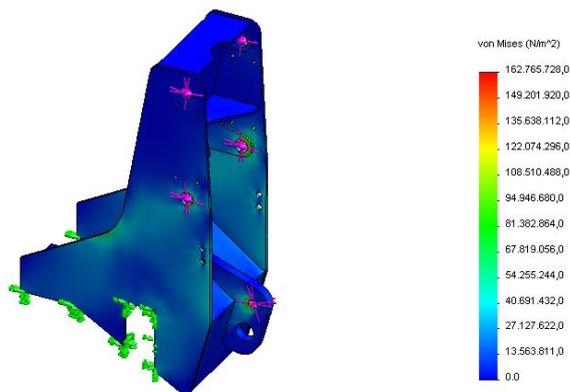


Figura 2.27. Análisis pseudodinámico, variante 2. Fuente: Archivo personal.

En la tercera variante, la distribución de las tensiones (ver Figura 2.28), muestra que no se producirán situaciones comprometedoras para una rotura en el conjunto, pero en la superficie de contacto con el pasador (cilindro hidráulico, ver Figura 2.29) en la viga central las tensiones aumentan significativamente a un valor de 210,308 MPa con un FDS de 1,117 para el material asignado (St-37.2). Teniendo en cuenta un aumento de las tensiones, producto a posibles situaciones de operación (cargas dinámicas) durante el proceso de explotación de la combinada y el bajo FDS en la superficie en cuestión, se pueden producir altas deformaciones y desgastes excesivos de la superficie trayendo consigo un aumento en las vibraciones del cortacogollo, comprometiendo su fiabilidad.

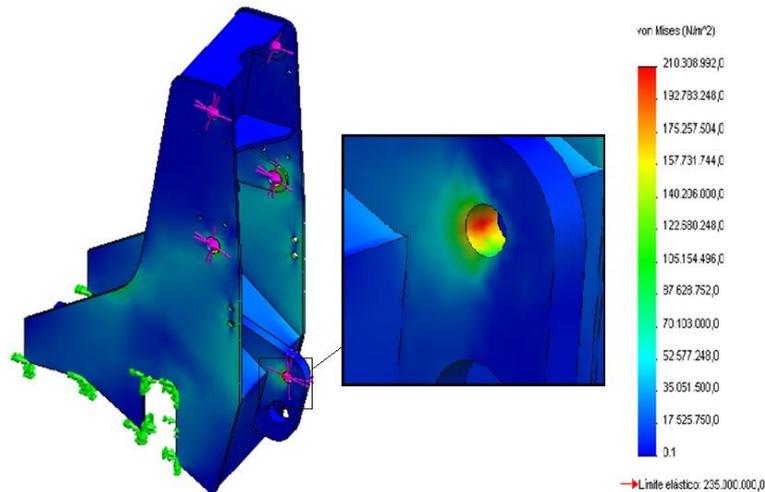


Figura 2.28. Superficie de máximas tensiones en el análisis pseudodinámico, variante 3. Fuente: Archivo personal.

El mayor desplazamiento en la base, se manifiesta en la primera variante (ver Figura 2.29), alcanzando valores de 0,061 mm; para el caso que se estudia, no tiene este desplazamiento ninguna consecuencia negativa, debido a que el mecanismo cortacogollo no se encuentra limitado por otros componentes de la cosechadora, por encontrarse éste en la parte delantera a una distancia considerable de los demás órganos de trabajo.

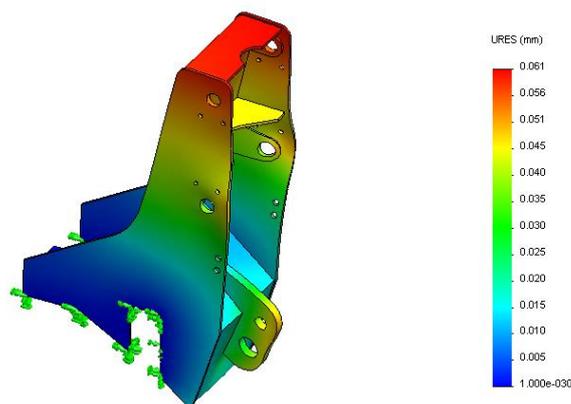


Figura 2.29. Trazado de los desplazamientos (escala x1000), variante 1. Fuente: Archivo personal.

Analizando los resultados de los estudios realizados se concluye que es necesario el rediseño de la base del cortacogollo desfibrador de la cosechadora cañera CCA-5000, ya que a pesar de que no se produce situación

comprometedora para una rotura bajo los efectos de la carga determinada para las variantes propuestas, en la superficie de contacto con el pasador en la viga central se alcanzaron tensiones de 210,308 MPa con FDS de 1,117 para el material asignado (St-37.2), por lo que pueden ocurrir altas deformaciones y desgastes excesivos de la superficie bajo la acción de cargas dinámicas durante el proceso de explotación, trayendo consigo un aumento en las vibraciones del cortacogollo comprometiendo su confiabilidad. Además, de que los desplazamientos en la base no tienen ninguna consecuencia negativa para el funcionamiento de la máquina.

2.6. Propuesta para la disminución de las deformaciones y desgastes excesivos en la superficie de unión en la viga central de la base del cortacogollo desfibrador de la cosechadora cañera CCA-5000 con el cilindro hidráulico.

El método de ensamblaje de la viga central al chasis y el resto del conjunto, dificultaría la sustitución de la misma, durante el proceso productivo, producto a desgastes excesivos, por lo que es necesario garantizar la disminución de las deformaciones en la película adyacente a la superficie de contacto con el pasador.

Para dar respuesta a la necesidad de rediseño de la base del cortacogollo desfibrador de la cosechadora cañera CCA-5000, para evitar altas deformaciones y desgastes excesivos en los puntos de unión de la misma, se propone el rediseño del modelo geométrico de la viga central, con la incorporación de un buje de 5 mm de espesor de acero ST-44.3. Las propiedades del material se muestran en la Tabla 2.4. Teniendo en cuenta que los pasadores son fabricados con acero CK45, la pieza a desgastar en la unión es el buje, garantizando que la viga central no sea dañada. Además el buje es una pieza de fácil recambio en el conjunto, pudiéndose efectuar durante la ejecución de mantenimientos planificados, sin afectar el proceso productivo.

Tabla 2.4. Propiedades del acero St-44.3. Fuente: Solid Works Simulation, versión 2013.

Límite elástico [MPa]	Módulo de elasticidad [N/m ²]	Coeficiente de Poisson	Densidad de masa [kg/m ³]	Límite de tracción [N/mm ²]
360	210000	0,28	7800	670

2.6.1. Análisis de los resultados del cálculo pseudodinámico a la propuesta planteada.

Después de generados los modelos de las dos piezas, las mismas fueron ensambladas y todos los pasos posteriores del análisis fueron llevados a cabo de igual manera que las variantes anteriormente planteadas.

Luego de realizados los cálculos (ver Figura 2.30), las mayores tensiones se encuentran en la superficie de contacto del buje con el pasador, alcanzando los 223,830 MPa pero con un FDS de 1,608 para el material seleccionado (ST-44.3); mientras que para la base las tensiones máximas calculadas alcanzan valores de 160,121 MPa con FDS de 1,46. Comprobándose que los desgastes y deformaciones en la superficie de unión para la variante propuesta, serán los normales garantizando así la confiabilidad de la base.

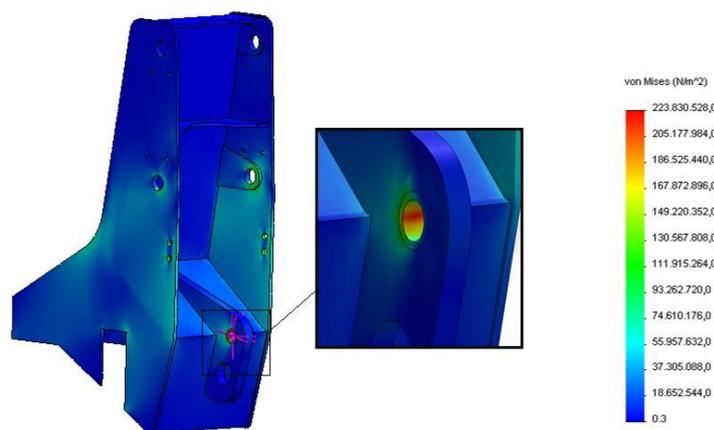


Figura 2.30. Superficie de máximas tensiones en el análisis pseudodinámico a la variante propuesta para la disminución de las deformaciones en la superficie de unión en la viga central con el cilindro hidráulico. Fuente: Archivo personal.

2.7. Análisis medioambiental del uso del cortacogollo desfibrador.

Una agricultura productiva con altos rendimientos, generalmente produce también abundante cantidad de residuos agrícolas. El manejo de estos residuos es un verdadero arte y está relacionado con el éxito en la conservación del suelo y una producción agrícola rentable. Existe un rechazo por parte de los agricultores a la presencia de esta gran cantidad de residuos sobre el suelo, principalmente por la dificultad en las labores poscosecha. Esta situación lleva a los agricultores a eliminar estos residuos bien sea por extracción o por medio de la quema. (Crovetto, 1992).

Con la implementación del cortacogollo desfibrador como un órgano de limpieza auxiliar en la cosechadora cañera, el cogollo antes de ser depositado en el campo es triturado, el cual representa entre el 60 % y el 76 % de las materias extrañas presentes en la carreta, facilitando las labores poscosecha y permitiendo la aceptación por parte de los agricultores a la presencia de esta gran cantidad de residuos sobre el suelo.

Según (Morales, 2011), entre otros autores, estos residuos vegetales que quedan sobre el suelo, cuando no se queman en las labores pre y poscosecha, constituyen una de las principales formas de transferir materiales y energía para el sostenimiento de los procesos que se desarrollan en el suelo, contribuyendo favorablemente al mejoramiento de las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo. Este aporte de biomasa se convierte en una reserva de materia orgánica y de minerales que van a realizar un aporte muy importante en el sistema de producción sostenible del cultivo de la caña de azúcar.

Según (Vélez, 2010) otras ventajas de las materias extrañas en el campo son el control de las hierbas dañinas, la reducción de las operaciones en el cultivo, el aumento de la capacidad operacional en las operaciones agrícolas, eliminación de las terrazas con buen control de erosión con inclinaciones hasta del 6% y la reducción de las rutas de tráfico interno, lo que aumenta el área productiva.

2.8. Análisis económico del uso del cortacogollo.

La necesidad de confiabilidad del cortacogollo, puede apreciarse cuantitativamente en las investigaciones de (Buzzis, 1996), donde evalúa un beneficio al finalizar la zafra (110 días), en la cadena cosecha-transporte-industria, de 404,8 miles de pesos producto a el uso del cortacogollo.

Es necesario señalar que el principal elemento y donde se espera estén los mayores beneficios económicos no se analizaron cuantitativamente, este es el referido al incremento de la producción de azúcar debido a la disminución del contenido de cogollo con la consecuente mejoría de la calidad de la materia prima molida, (Buzzis 1996).

(Aballes, 2011) plantea al analizar los resultados obtenidos en las pruebas a las máquinas con cortacogollo, que en una hora de rotura de uno de estos mecanismos, se deja de obtener un beneficio de 21,9 pesos.

Según Zayas (1997), Fogleata demostró en su investigación que la reducción del 1% de las materias extrañas durante la molida provoca una disminución 0,038 kW/h por cada tonelada de caña procesada.

CONCLUSIONES

Una vez terminada la presente investigación, se llega a las siguientes conclusiones:

1. El estudio del estado del arte demuestra un alto nivel en la competitividad del diseño de cosechadoras cañeras y la necesidad del uso del aparato cortacogollo. A pesar de su desarrollo no se encontró documentación referente a la base portante del mecanismo.
2. Se realizó el análisis numérico de la base del cortacogollo desfibrador de la cosechadora cañera CCA-5000 a través de su modelación en el software Solid Works en su versión 2013 y con la utilización de su paquete de cálculo Solid Works Simulation que emplea el método de elementos finitos.
3. Se determinó el estado tensional de la base, para las situaciones más críticas, bajo la acción de las cargas producidas por el peso de órgano de trabajo, demostrándose que no se produce situación comprometedoras para una rotura; pero en la superficie de contacto con el pasador en la viga central se alcanzaron tensiones de 210,308 MPa que producto al bajo FDS de 1,117 pueden ocurrir altas deformaciones y desgastes excesivos de la superficie trayendo consigo un aumento en las vibraciones del cortacogollo comprometiendo su confiabilidad, bajo la acción de cargas dinámicas durante el proceso de explotación. Por lo que es necesario su rediseño.
4. Se propuso una variante de diseño, que incluye la incorporación de un buje de acero St-44.3, de 5 mm de espesor. El nuevo modelo fue sometido a las mismas condiciones de operación que la variante original, donde los cálculos demostraron que las mayores tensiones se encuentran en la superficie de contacto del buje con el pasador, alcanzando los 223,830 MPa pero con un FDS de 1,608; mientras que para la base las tensiones máximas calculadas alcanzan valores de 160,121 MPa con FDS de 1,46. Comprobándose que los desgastes y deformaciones serán los normales para este tipo de unión, garantizando así confiabilidad de la base.

5. El mayor desplazamiento en la base, alcanza valores de 0,061 mm; pero no tiene ninguna consecuencia negativa para el funcionamiento de la máquina.
6. El modelo de cálculo expuesto en la presente investigación, constituye una herramienta que permitirá a los diseñadores tomar decisiones más rápidas y acertadas en la etapa de fabricación, como la variación del material o modelo geométrico, disminuyendo los tiempos de parada en la fabricación y garantizando la confiabilidad del producto.

RECOMENDACIONES

Una vez analizadas las conclusiones del presente trabajo, se realizan las siguientes recomendaciones:

1. Se sugiere continuar utilizando el mecanismo cortacogollo desfibrador en el nuevo modelo de cosechadora cubana CCA-5000.
2. Se recomienda la utilización de las herramientas CAD y con ellas los métodos de cálculos por elementos finitos en el diseño de máquinas agrícolas.
3. Realizar un estudio dinámico a la base del mecanismo cortacogollo.
4. Realizar una optimización de los perfiles usados en la base del mecanismo cortacogollo.
5. Realizar pruebas extensométricas al nuevo modelo de cosechadora cubana CCA-5000.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aballes, C, Ricardo. 2011. Perfeccionamiento del mecanismo paralelogramo del cortacogollo desfibrador para la cosechadora cañera cubana CCA-5000. 84 pág. Tesis (en opción al título académico de máster en maquinaria agrícola).
2. Abreu, R, Y. 2013. Aplicación de las herramientas CAD en el perfeccionamiento del sistema de dirección de la cosechadora de caña cubana CCA-5000. 120 pág. Tesis (en opción al título académico de máster en CAD-CAM).
3. Ayuda de SolidWorks Simulation. Documentación del software, 2013.
4. Buzzis, R. 1996. Informe técnico. Resultados parciales sobre la evaluación integral del mecanismo cortacogollo en la KTP-2M del CAI “Cristino Naranjo”. Prov. Holguín. 9 pág.
5. Carnicero, A. Introducción al método de los Elementos Finitos. Formato PDF. Disponible en:
http://www.iit.upco.es/~albertoc/introduccion_al_MEF.pdf/.
6. Calzadilla D, H. 2005. Optimización del bastidor principal de un alisador agrícola para el cultivo del arroz. 74 pág. Tesis (en opción al título académico de máster en CAD-CAM).
7. Crovetto, C. 1992. Rastrojos sobre el suelo una introducción a la cero labranza. Editorial Universitaria. Chile.
8. Delgado Valdez, A. Los residuos agrícolas de la cosecha cañera (RAC). Disponible en:
http://www.nest.unifei.edu.br/portugues/pags/novidades/curso_cyted/files/pdf/Tema%201%20Residuos%20Agricolas%20da%20Cana-de-Acucar/ExperienciasInternacionais.pdf [Consultado: 12 de Octubre 2014].
9. Dobrovolski, V, Zablonski, K, Radchik, A, Erlij, L. Elementos de máquinas. Editorial MIR. Moscu. 1980. 582 pág.
10. Durango, N. Condiciones de frontera en el método de los elementos finitos. Revista Ingeniería & Desarrollo, Universidad del Norte, 1: 24-28, 1995.

11. Estrada Cingualbres, R. 1999 “Estudio de la capacidad de carga del bastidor principal de la cosechadora KTP”. Holguín. 100 pág. Tesis. (presentada para optar por el Grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas).
12. Esquijarosa García, J. Química de la caña. Editorial de libros para la educación. 1981. 91 pág.
13. Guerrero, M. Aplicación del método de elementos finitos al análisis nodal. Revista Ingenierías, Vol II, 3: 49-55, Enero-Abril, 1999.
14. Vélez, Carlos. “Limpieza de caña en seco y aprovechamiento de la materia extraña vegetal como combustible en Brasil”. Revista Técnica No. 26, Diciembre de 2010. Pág. 12...13. Disponible en: http://www.tecnicana.org/pdf/2010/tec_no26_2010.pdf [Consultado: 12 de Octubre 2014].
15. Larrahondo, J.E. Calidad de la caña de azúcar. En Cenicaña. El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia, Cali, Cenicaña, 1995. Pág. 337-354. Disponible en: http://nutriciondebovinos.com.ar/MD_upload/nutriciondebovinos_com_ar/Archivos/File/CALIDAD_DE_LA_CA%C3%91A_DE_AZUCAR_%28www%29.pdf [Consultado: 12 de Octubre 2014].
16. L. L. Otero Pereiro. Aprendiendo sobre el Método de los Elementos Finitos. Revista Ingeniería Mecánica, 3: 7-17, 2006.
17. Levy, Fernández, Gilda. Resistencia de los materiales Tomo II. Editorial
18. pueblo y educación, 1987. 508 pág.
19. Morales, T Javier. 2011. Impacto ambiental de la actividad azucarera y estrategias de mitigación. 72 pág. Monografía. Disponible en: <http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/32477/1/moralestrujillo.pdf> [Consultado: 20 de Octubre 2014].
20. Tarea Técnica. Requisitos que debe cumplir la cosechadora de caña de azúcar de nuevo tipo. Dirección de Mecanización MINAZ. (Elaborado 12 de Agosto del 2009). S/N. SA.

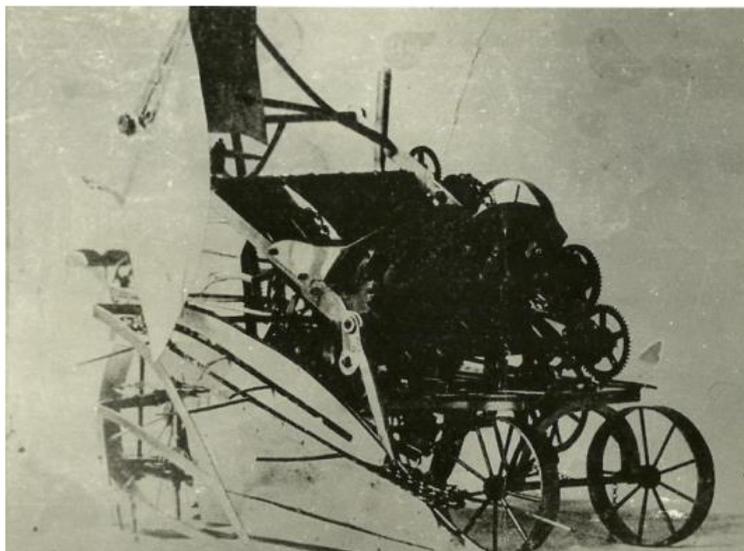
21. Sánchez Remberto. Máquinas e implementos agrícolas. Universidad de Holguín Oscar Lucero Moya. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Mecánica. (Plan de clases)
22. Solid Works Simulation 2013. Ayuda de Solid Works Simulation. Documentación del software.
23. Pérez Pupo, J. 1996. Cálculo y modelación de sistemas hidráulicos. 85 pág. Tesis (en opción al título académico de máster en maquinaria agrícola).
24. Zayas, B. 1997. Informe técnico. Estudio, diseño y pruebas de un mecanismo cortacogollo de caña de producción nacional. 40 pág. Holguín.
25. Zienkiewicz, O. C. & Taylor R. L. El Método de los Elementos Finitos. Editorial McGraw-Hill. 1993. 650 pág.

ANEXOS

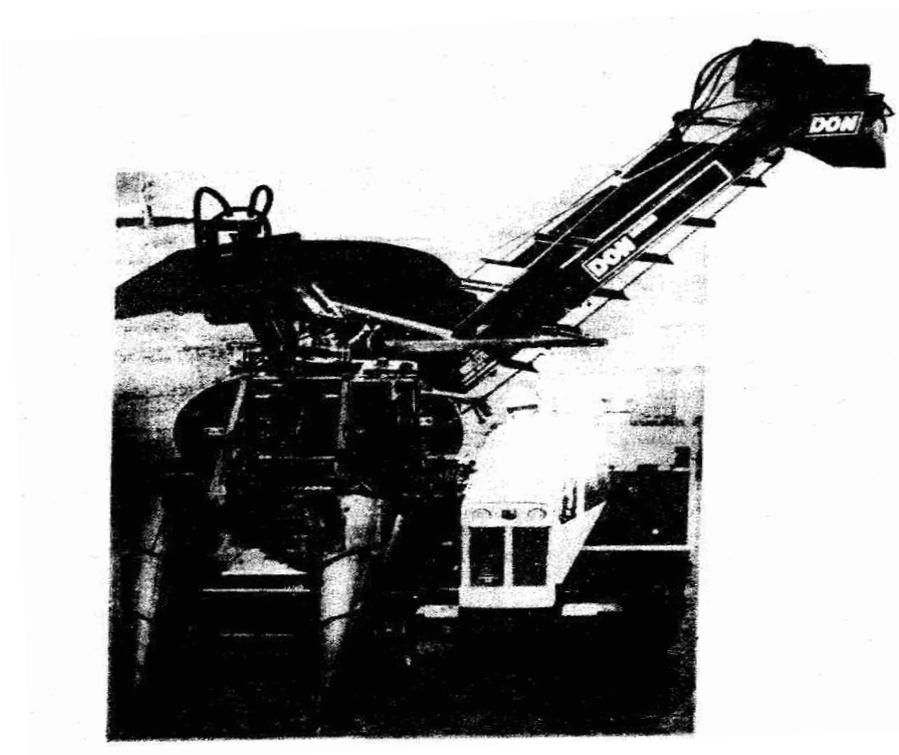
Anexo 1. a) Combinada International Harvester (TOFT) modelo CH-3000 Robot.

b) Combinada Wyper Brother Ltd. (DON-MIZZI) modelo DON-741. Fuente:

Sánchez, 2014.



a)



b)

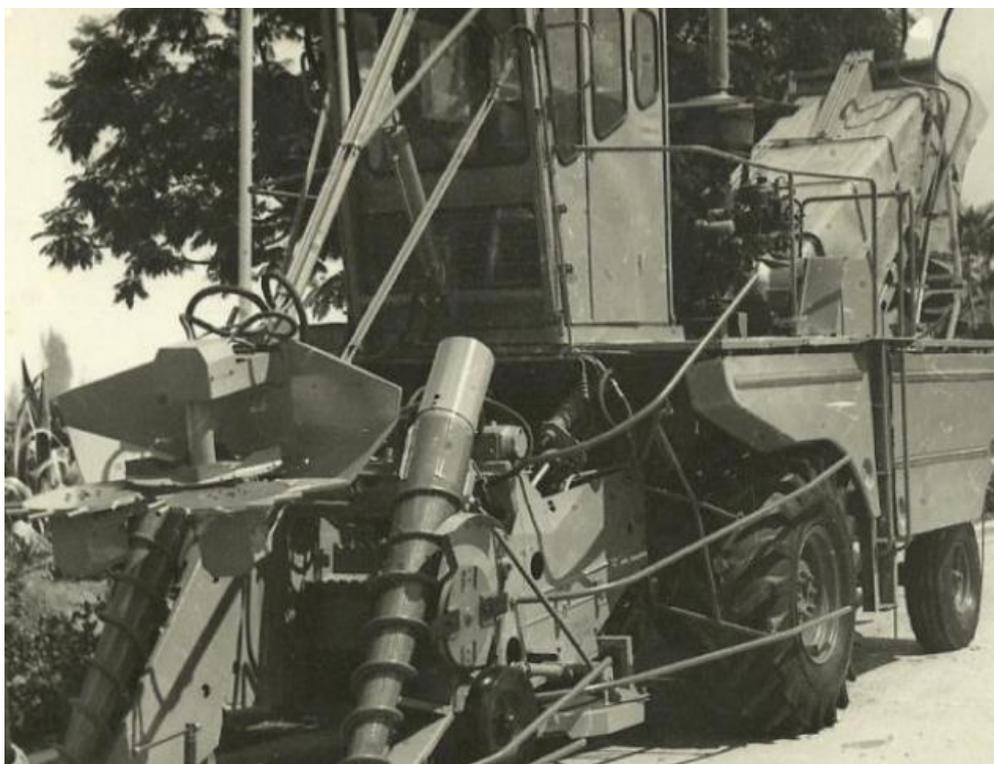
Anexo 2. Composición del jugo extraído de tres partes de la caña.

Materia	Brix	Sacarosa	Glucosa	Pureza
Tallos	20,90	18,69	0,81	89,42
Cogollo	10,42	1,80	4,00	17,27
Tallos subterráneos	17,85	13,61	1,04	86,25

Anexo 3. Aparato de corte rotatorio (cortacogollo convencional), instalado en las cosechadoras cañeras, a) KTP-2 y b) KTP-2M. Fuente: Aballes, 2011.



a)



b)