

**UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN
“Oscar Lucero Moya”**

**FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO GRÁFICA DE INGENIERÍA**

**PERFECCIONAMIENTO DEL MECANISMO PARALELOGRAMO DEL
CORTACOGOLLO DESFIBRADOR PARA LA COSECHADORA CAÑERA
CUBANA CCA-5000**

**Tesis presentada en opción al Título Académico de Master en Maquinaria
Agrícola**

Autor: Ing. CARLOS MANUEL RICARDO ABALLES

HOLGUÍN, 2011

**UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN
“Oscar Lucero Moya”**

**Facultad de ingeniería
DEPARTAMENTO GRÁFICA DE INGENIERÍA**

**PERFECCIONAMIENTO DEL MECANISMO PARALELOGRAMO DEL
CORTACOGOLLO DESFIBRADOR PARA LA COSECHADORA CAÑERA
CUBANA CCA-5000**

**Tesis presentada en opción al Título Académico de Master en Maquinaria
Agrícola**

Autor: Ing. CARLOS MANUEL RICARDO ABALLES

**Tutores: I. T. Dr. C. Juan Rafael Pérez Pupo
P. T. Dr. C. Roberto Estrada Cingualbres**

HOLGUÍN, 2011

AGRADECIMIENTOS

A los Doctores Juan Rafael Pérez Pupo y Roberto Estrada Cingualbres por su apoyo y asesoramiento en el desarrollo de la presente investigación, por su preocupación y tiempo dedicado a este trabajo.

A todo el colectivo de profesores que nos transmitieron sus conocimientos durante el desarrollo de la Maestría.

A todos los compañeros de trabajo que de una u otra forma hicieron posible la realización de este trabajo.

Carlos Manuel Ricardo Aballes

RESUMEN

Para dar respuesta al problema planteado en esta investigación, ¿Cómo lograr un diseño del mecanismo paralelogramo del cortacogollo desfibrador para la cosechadora cañera cubana, teniendo en cuenta las condiciones reales de explotación?, se realiza una valoración del estado actual del arte, en Cuba y en el mundo, relacionado con esta temática. Se realizó una valoración del desarrollo de la mecanización en la cosecha de la caña de azúcar, específicamente en la utilización del mecanismo cortacogollo en cosechadoras cañeras de las diferentes firmas reconocidas en el mundo, la evolución histórica de estos y el desarrollo que han tenido con la modernización de la cosecha de la caña de azúcar.

Para ello se propone como objetivo general de la investigación, perfeccionar el mecanismo paralelogramo del cortacogollo desfibrador para la cosechadora cubana CCA-5000. En esta investigación se utilizó el método de elementos finitos, se emplearon para ello informaciones de investigaciones anteriores en el campo de la extensometría, de gran utilidad para determinar las causas que provocaron la deformación prematura del mecanismo paralelogramo de la cosechadora C-4000, esto permitió perfeccionar dicho mecanismo y obtener datos de gran importancia sobre el comportamiento de este al ser sometido a cargas extremas de explotación, teniendo en cuenta las variaciones de estas en el tiempo, las frecuencias propias del mecanismo y el amortiguamiento del material utilizado.

SUMMARY

To give answer to the problem outlined in this investigation, How to achieve a design of the mechanism parallelogram of the shredder topper for the cuban sugar cane harvester, keeping in mind the real conditions of exploitation?, it is carried out a valuation of the current state of the art, in Cuba and in the world related with this thematic one. A valuation of the development of the mechanization was made in the crop of the cane sugar, specifically in the use of the topper mechanisms sugar cane harvesters of the different producers recognized in the world, the historical evolution of these and the development that have had with the modernization of the crop of the sugar cane.

The general objective of the investigation is to perfect the topper mechanism for the cuban sugar cane harvester CCA-5000. In this investigation the method of the finite elements was used, they were used data of previous investigations in the field of the extensometría, of great utility to determine the causes that provoked the premature deformation of the topper's mechanism parallelogram of the harvester C-4000, this allowed to perfect this mechanism and to obtain data of great importance on the behaviour from this to the subjected being to extreme loads of exploitation, keeping in mind the variations of these in the time, the frequencies characteristic of the mechanism and the reduction of the used material.

Palabras claves: cortacogollo, cosechadoras cañeras, elementos finitos.

Key words: Sugarcane, harvesters, finite elements.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	3
1. ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL	8
1.1. La cosecha de caña mecanizada en Cuba	8
1.2. Las materias extrañas en la caña de azúcar	13
1.3. El cortacogollo como órgano de limpieza en la cosechadora de caña	17
1.4. Características e importancia del mecanismo cortacogollo	21
1.5. Empleo del mecanismo cortacogollo en Cuba	23
1.6. Tipos de mecanismo cortacogollo	24
1.7. Mecanismo cortacogollo convencional	26
1.8. Mecanismo cortacogollo desfibrador	27
1.9. Conclusiones del capítulo	30
2. ANÁLISIS DEL MECANISMO CORTACOGOLLO DESFIBRADOR PARA LA COSECHADORA CUBANA CCA-5000	33
2.1. Conjunto de los órganos de trabajo	34
2.1.1. Torre de discos	36
2.1.2. Mecanismo paralelogramo, estructura portante y regulador de la altura de corte del cortacogollo	37
2.2. Cálculo del mecanismo paralelogramo del cortacogollo desfibrador por el método de elementos finitos	38
2.2.1. Estudio estático del mecanismo paralelogramo del cortacogollo desfibrador de la cosechadora C-4000	41
2.2.1.1. Construcción del modelo geométrico	41
2.2.1.2. Cálculo de las fuerzas aplicadas al mecanismo paralelogramo	41
2.2.1.3. Asignación de material	44
2.2.1.4. Aplicación de las restricciones	44

2.2.1.5. Mallado del modelo	45
2.2.1.6. Análisis estático	46
2.2.1.7. Condiciones para la sustitución del tubo de sección circular por tubo de sección rectangular en el subconjunto KTP-4G.16.180 C	49
2.2.2. Análisis dinámico lineal del mecanismo paralelogramo del cortacogollo desfibrador de la cosechadora cañera cubana CCA-5000	52
2.2.2.1. Determinación del coeficiente dinámico de la máquina	52
2.2.2.2. Determinación del tiempo que demora la cosechadora para sobrepasar un obstáculo	55
2.2.2.3. Análisis dinámico lineal	57
2.3. Análisis de los resultados	64
2.4. Análisis económico de la efectividad del uso del mecanismo cortacogollo	65
2.5. Conclusiones del capítulo	67
CONCLUSIONES	70
RECOMENDACIONES	70
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
ANEXO	79

INTRODUCCIÓN

En Cuba el cultivo de la caña de azúcar se inició luego de la llegada de los españoles en 1492 y la Isla dependió casi de inmediato de esta producción, de inmediato surgieron los colonos españoles, que obtenían las riquezas que les proporcionaba el azúcar, en detrimento de la salud de los trabajadores que laboraban en las plantaciones cañeras. Antes del triunfo de la Revolución cubana en 1959 las condiciones de trabajo en los campos cañeros cubanos eran pésimas y no había ninguna preocupación de los gobernantes de turno por una mejoría en la calidad de vida de los macheteros que participaban en la cosecha cañera.

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 inicios 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 Ministerio de la Industria Azucarera (MINAZ) a un nivel que es necesario mejorar, en este sentido se trabaja en el nuevo modelo de cosechadora cañera CCA-5000 que dispondrá de nuevos órganos de limpieza capaces de mejorar la calidad de la cosecha con la eliminación de un por ciento elevado de materias extrañas.

Esta investigación se realiza por la necesidad de mejorar la fiabilidad de la cosechadora cañera cubana CCA-5000 y, en particular, su mecanismo cortacogollo desfibrador.

Según Buzzis (1996) las materias extrañas referidas al cogollo representan el 76% de todas las materias extrañas presentes en los medios de transporte cañero, esto se debe a que las propiedades aerodinámicas y peso específico del cogollo son similares a los trozos aprovechables de caña, por esta razón, 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 que inciden de forma

directa en el aprovechamiento de los medios de transporte y en la eficiencia de la propia industria. Al ser separadas las 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. Todo lo anterior trae como consecuencia que los productores de caña 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. Para solucionar este complicado problema que genera la cosecha de caña en verde fue diseñado un mecanismo cortacogollo desfibrador instalado en el modelo de cosechadora cañera C-4000. Este órgano de limpieza realizó su labor de eliminar el cogollo antes de entrar a la cosechadora de forma satisfactoria, lo que permitió alcanzar altos valores en el triturado del cogollo.

El mecanismo cortacogollo forma parte del sistema de limpieza de la cosechadora e incide directamente en los índices de calidad de la cosecha y en la fiabilidad técnica de la máquina, esta última se afectó debido a deformaciones presentadas en el mecanismo paralelogramo, que se encarga de soportar los órganos de trabajo del cortacogollo y que, además, garantiza la altura de corte del cogollo. De todo lo hasta aquí expuesto surge como problema real la deformación del conjunto paralelogramo del mecanismo cortacogollo de la cosechadora C-4000.

De este problema real surge como **PROBLEMA CIENTÍFICO**, ¿Cómo lograr un diseño del mecanismo paralelogramo del cortacogollo desfibrador para la cosechadora cañera cubana, teniendo en cuenta las condiciones reales de explotación?, el **OBJETO** de investigación está centrado en el mecanismo cortacogollo, el **CAMPO** de acción se enmarca en el mecanismo paralelogramo del cortacogollo y el **OBJETIVO GENERAL** propuesto es: Perfeccionar el mecanismo paralelogramo del cortacogollo desfibrador para la cosechadora cañera cubana CCA-5000.

HIPÓTESIS: Si se diseña un mecanismo paralelogramo para el cortacogollo desfibrador, que se usa en la cosechadora de caña cubana, y se utilizan para el cálculo las cargas reales de explotación, es posible perfeccionar su estructura y evitar deformaciones excesivas bajo condiciones extremas de explotación.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Estudiar el estado del arte en el mundo y en Cuba del uso del cortacogollo en las cosechadoras cañeras.
2. Determinar las causas de la deformación ocurrida en la estructura portante del cortacogollo con tubo circular de diámetro 127 y espesor ocho en la cosechadora cañera cubana C-4000.
3. Calcular por el método de elementos finitos la estructura portante del cortacogollo para determinar su estado tensional bajo condiciones extremas de cargas.

Métodos de investigación.

Métodos Empíricos:

- Observación científica: se puso en práctica al observar las condiciones físicas reales de trabajo y explotación, así como de las pruebas de la cosechadora cañera.
- Criterio de expertos: se realizaron entrevistas no estructuradas a diseñadores y a los especialistas en valoraciones experimentales del Centro de Desarrollo de la Maquinaria Agrícola (CEDEMA).

Métodos teóricos:

Histórico – Lógico: Para conocer la evolución y desarrollo del objeto de investigación y el condicionamiento de la teoría en las distintas etapas por las que han transitado las cosechadoras en su sucesión cronológica.

Análisis y síntesis: Para distinguir los distintos elementos o partes del todo (sistema u objeto sujeto a investigación), analizándolos por separado para determinar sus relaciones y, se partió de esta base para sintetizar los resultados del análisis.

Hipotético – Deductivo: Para proponer la hipótesis de la investigación a partir de deducciones a priori del conjunto de datos y conocimientos generales iniciales que se tienen del fenómeno, se llega a conclusiones primarias a partir de dicha hipótesis, que luego puedan ser comprobadas durante el desarrollo de la investigación.

Sistémico – Estructural: Para determinar los componentes del objeto y sus relaciones, lo que posibilita una visión de su estructura y la dinámica que lo caracteriza.

Método de elementos finitos (MEF): Para el análisis tensional del mecanismo paralelogramo, así como la realización del cálculo estático y dinámico lineal utilizando el paquete para cálculos COSMOSWorks.

La **NOVEDAD** de esta investigación está dada en el diseño de un mecanismo paralelogramo para el cortacogollo desfibrador instalado en la cosechadora cañera cubana CCA-5000, utilizando datos de las cargas reales obtenidos en pruebas extensométricas y realizando el análisis dinámico lineal del mismo.

La **ACTUALIDAD** de este trabajo consiste en la aplicación del nuevo diseño del mecanismo paralelogramo para el cortacogollo desfibrador en la cosechadora cañera cubana CCA-5000.

El **RESULTADO ESPERADO** del desarrollo de esta investigación es poder contar con un mecanismo cortacogollo desfibrador en la cosechadora cubana que sea capaz de triturar el cogollo en el momento de cosechar la caña y que este cuente con un alto coeficiente de seguridad técnica.

1. ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL

1. ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL

1.1. La cosecha de caña mecanizada en Cuba

Desde el surgimiento de las primeras ideas del corte mecanizado Cuba estuvo vinculada a este proceso, entre los factores que contribuyeron a ello tenemos: la proximidad de Cuba en relación con el polo de desarrollo mundial en esta esfera, los Estados Unidos de América (EUA) y a la existencia de un elevado número de dueños de centrales azucareros de origen norteamericano.

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 Figura1.1). 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).

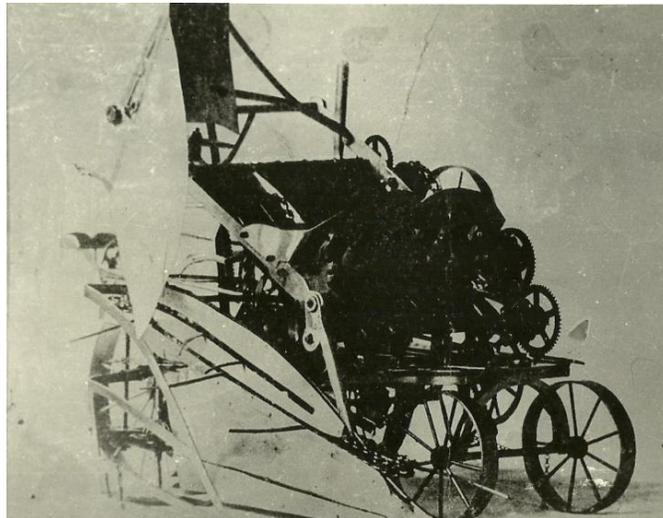


Figura 1. 1. Cortadora de tiro animal diseñada por R.R. Wilson, 1889, Luisiana, EUA. Fuente: Max (Archivo personal).

En el año 1912 se produce un hecho que catalizó el desarrollo de la mecanización, la introducción del motor de combustión interna como parte de las máquinas y su fuente de energía principal, realizada por George D. Luce, el cual efectuó varios ensayos y consideró que en el año 1914 su máquina, (ver Figura 1.2) estaba lista para la comercialización y fueron adquiridas por Australia, Hawai y Cuba.



Figura 1.2. Cortadora de caña de azúcar Luce, Louisiana EUA, 1912. Fuente: Max (Archivo personal).

En el año 1915 en Matanzas en el Central “Rosario” (hoy Rubén Martínez Villena) se probaron las cosechadoras de George D. Luce. Algunas de las pruebas fueron filmadas con fines de promoción, era una máquina de arrastre acoplada a un tractor de cuatro cilindros y cuatro tiempos de 40 caballos de fuerza, fue la cosechadora D. Luce la primera en el mundo en venderse en varios países.

Este momento fue muy importante ya que divide el desarrollo de las cosechadoras en dos etapas, la primera de búsqueda, experimentación y desarrollo limitado enfrentado por inventores aislados o pequeños grupos y la segunda etapa, cuando se fabrican a mayor escala y se produce por una industria que estimula el desarrollo.

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 en las cuales influyen, por una parte, los adelantos tecnológicos ocurridos 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. Y unido a esto el interés económico que despertó el desarrollo de la cortadora de caña desde la década de los veinte que se afianzó en los años treinta del pasado siglo y se continúa fortaleciendo hasta hoy debido a la existencia de los grandes consorcios industriales destinados a la fabricación de la maquinaria agrícola en general.

A partir de los años 60 del pasado siglo se produce la consolidación de los consorcios industriales productores de máquinas y equipos agrícolas que en el caso de la cosechadora de caña se encuentra en tres países fundamentalmente: Estados Unidos, con la CAMECO, la Thompson, etc., Alemania Federal, con la Libertadora de patente cubana, (ver Figura 1.3) y Australia con la Toft y la Massey Ferguson, (ver Figura 1. 4). En este período se producen máquinas también en Brasil, la Santal, y en Cuba, la KCT-1, (ver Figura 1. 5) y la KTP-1, (ver Figura 1. 6).

Pero el mercado mundial es controlado por las firmas CLAAS (Alemania), TOFT (Australia) y las norteamericanas.

En Cuba el desarrollo y la investigación de la mecanización cañera se inician en los primeros años de la Revolución. A finales de la primera zafra de 1961 debido a las nuevas condiciones sociales que eliminaron el desempleo se registra un déficit

de macheteros por lo que el Comandante Ernesto Che Guevara, entonces Ministro de Industria y máximo precursor de la mecanización en Cuba, crea en ese año una comisión para atender la cosecha de caña.



Figura 1.3. Cosechadora de caña de azúcar Libertadora. Fuente: Max (Archivo personal).



Figura 1. 4. Cosechadora de caña de azúcar Massey Fergunsón. Fuente: Max (Archivo personal).



Figura 1.5. Cosechadora de caña de azúcar KCT-1. Fuente: Max (Archivo personal).

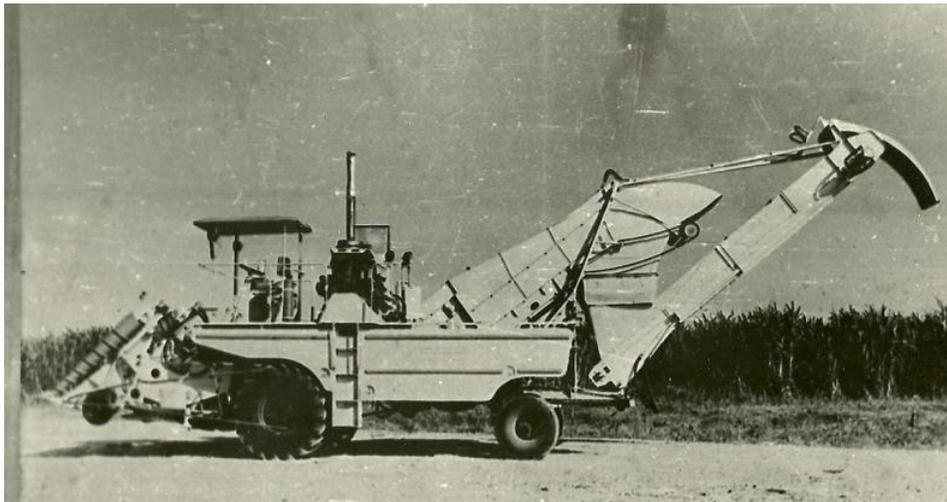


Figura 1. 6: Cosechadora de caña de azúcar KTP-1. Fuente: Max (Archivo personal).

Según Pérez Pupo (2006), las primeras máquinas que se desarrollaron en Cuba no dieron el resultado deseado, requerían de una gran organización de la agricultura cañera y el aumento de la producción que se obtenía no compensaba el esfuerzo realizado. Así técnicos y especialistas cubanos continuaron trabajando en diferentes planes de desarrollo y paralelamente a esto, se recibe la colaboración de la extinta Unión Soviética, con la cual se construye en 1977 la Fábrica de Combinadas Cañeras “ LX Aniversario de La Revolución de Octubre”. Debido al constante perfeccionamiento de las máquinas combinadas cosechadoras de caña de azúcar, se le da continuidad al Programa de Investigación del Sistema de Cosecha de Caña de Azúcar en Cuba.

Entre las décadas de los años sesenta y los setenta del siglo XX se produce el refinamiento en la calidad de terminación de estas máquinas, proporcionado por la influencia de la ciencia en su perfeccionamiento, la tecnología de fabricación, empleo de robots, el empleo de la computación como apoyo a los cálculos, el surgimiento de nuevos materiales y el cúmulo de experiencia obtenido durante los años de búsqueda y mejoras. Estas máquinas en general con esquemas más o menos similares, se caracterizan por poseer mejores condiciones de trabajo para el operador, confort, uso de accionamientos hidráulicos que posibilitan la regulación del movimiento de avance, altura de corte según las condiciones de explotación, así como el movimiento reversible para el caso de atoros en su proceso tecnológico, mayor fiabilidad de sus órganos de trabajo, motor potente y más económico. Estas máquinas con algunas limitaciones resuelven el problema de la mecanización cañera en el mundo.

1.2. Las materias extrañas en la caña de azúcar

La materia extraña es todo lo que acompaña a la materia prima destinada al central que no produce azúcar, tales como: cogollos, hojas secas, cañas secas, piedras, tierra, palos, etc., estas no dan azúcar sino roban azúcar. Al ser separadas las materias extrañas de la caña de azúcar por los órganos de limpieza

de las cosechadoras, estas materias extrañas quedan en el campo y pasan a formar parte de las grandes cantidades de residuos cañeros que genera la cosecha de caña en verde, estas según Rodríguez (2009), 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

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

Los residuos cañeros están formados por: tallos útiles de caña quedados, cogollos de los tallos, hojas secas y verdes, tallos inmaduros, tallos secos y raíces. Esta composición de biomasa referida a los residuos cañeros ha sido estudiada por diferentes autores, en su investigación, (Rodríguez, 2009) muestra su comportamiento y se ilustra en la tabla 1.2.

Tabla 1. 2: Componente de los residuos cañeros

Componentes	(Uribe, 1998)	(Villegas, 1999)
Restos de caña	15,4%	11,9%
Cogollos	2%	55,8%
Hojas verdes	82,6%(1)	31,9% (1)

La evaluación de la materia extraña se hace a través del despalillo o micro despalillo de muestras de caña. Esto es importante ya que a medida que se envíe mayor cantidad de materia extraña a la industria habrá mayor pérdida por concepto de mieles finales, cachaza y otros indeterminados en el proceso

industrial, (García, 2007). Una vez categorizadas las pérdidas se conocerán las causas, las que podrán disminuirse o evitarse.

Según informe del DINAME (1982) de las materias extrañas de la masa vegetal procesada por las máquinas cosechadoras, los tallos verdes del cogollo constituyen la mayor fracción; Zayas, (1997) en su investigación muestra la composición de las materias extrañas en la caña de azúcar en la tabla 1. 3.

Tabla 1.3. Composición de las materias extrañas en los medios de transporte

	Paja de caña (%)	Cogollo (%)
Muestra I 21% de materias extrañas	5	16
Muestra II 28% de materias extrañas	10	18

Como se puede apreciar en la muestra I las materias extrañas (ME) referidas al cogollo representan un 76 % de la población completa (ME=21 %) y en la muestra II representa un 64% para ME=28%.

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.

Las experiencias practicadas han demostrado esto e, incluso, con los medios actuales conocidos según Zayas (1997), se logra alcanzar un régimen de trabajo de alta productividad con mejor calidad de limpieza, ya que eliminando el cogollo la máquina puede asimilar una masa vegetal más enriquecida en caña limpia y esto al mejorar la calidad de la cosecha conllevaría a un mayor aprovechamiento de los medios de transporte; según esta 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. En otras palabras, esto quiere decir que en la medida que disminuya el peso de masa

vegetal en carreta por el aumento del volumen de materia extraña en la misma, es mayor la masa limpia (por ciento de caña limpia) que se deja de transportar, es mayor la cantidad de combustible que se gasta para llevar esa masa limpia al central y son mayores las pérdidas de azúcar en el recobrado industrial y se eleva de esta manera el costo del proceso.

Según Zayas (1997), eliminando sólo una parte del contenido total de ese dañino componente se disminuyen las pérdidas en bagazo, cachaza y miel final, que mejora sensiblemente el rendimiento industrial.

El cogollo y los canutos superiores del tallo contienen muy poca azúcar por lo que originan una caída de la pureza de los jugos durante la molienda.

Dentro del cogollo están presentes las cenizas, azúcares reductores, almidones y otros compuestos que por sus características tienen una incidencia directa en el proceso de fabricación de azúcar, por ejemplo:

El aumento de las cenizas produce una considerable disminución del recobrado de azúcar de las mieles y aumenta su cantidad con lo que retarda el proceso de cristalización. Una parte de estas cenizas se acumula en el cristal del azúcar. En las refinerías ellas producen problemas similares a los que se confrontan en las fábricas de azúcar crudo.

Algunos importadores de azúcar crudo establecen límites en los porcentajes de cenizas que consideran aceptable por lo que resulta importante mantener lo más bajo posible el nivel de cenizas que entre en la industria.

La cosecha mecánica reduce la presencia de tierra; pero incrementa el contenido de hojas y cepas, tanto la tierra como las hojas son componentes negativos en el proceso industrial al disminuir la sacarosa recuperable; además del impacto económico que ocasionan por tener que cortar, cargar, transportar y procesar material sin sacarosa.

En cuanto al contenido de almidón muchos experimentos han demostrado que el mismo provoca una caída en la calidad del azúcar crudo en cuanto a filtrabilidad para un proceso posterior de refinación.

Se ha comprobado que la molida por hora efectiva se incrementa con la disminución del porcentaje de fibra de caña y que las materias extrañas también inciden en el aspecto del consumo energético.

Existen varias prácticas para disminuir la influencia del cogollo como materia extraña y entre las que se pueden señalar las siguientes:

- La siembra de variedades de alta producción y que tengan tendencia a mantenerse erectas lo cual facilitaría el descogollo cuando se efectúa la cosecha.
- Las variedades de mayor crecimiento o de ciclo largo de 18 meses hace que la relación cogollo-tallo de caña sea menor.
- Mediante la selección de la variedad adecuada y el agoste oportuno se puede controlar el ahijamiento.

Según Zayas (1997) Fogleata demostró en su investigación que la reducción del uno 1% de materia extraña durante la molida provoca una disminución 0,038 kwh por cada tonelada de caña procesada.

1.3. El cortacogollo como órgano de limpieza en la cosechadora de caña

Uno de los órganos de trabajo de la cosechadora de caña de evolución más acentuada desde su surgimiento lo ha sido el mecanismo para el corte del cogollo de la caña de azúcar, también conocido como aparato cortacogollo y que funge en la máquina como un órgano auxiliar de limpieza. Su aparición entre los órganos de trabajo de una cortadora de caña se remonta a los años cuarenta del pasado siglo, en máquinas tiradas por tractor como un apéndice que en general ofrecía resultados poco favorables en su tarea de eliminar el cogollo de la planta.

En sus inicios un complicado sistema de cadenas y correas, (ver Figura 1.7), accionaban elementos de corte con movimientos alternativos o rotatorios que actuaban sobre el cogollo y lo cortaban.

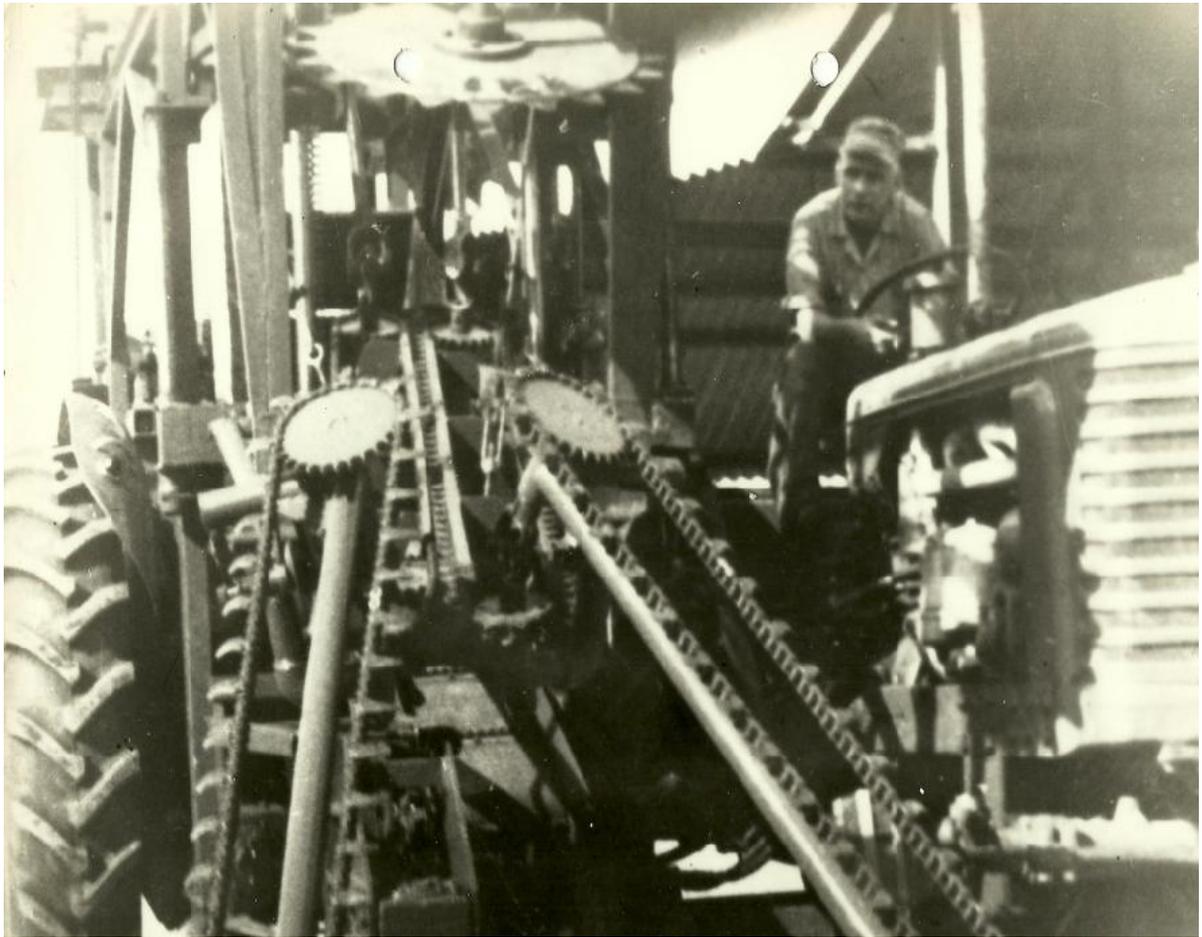


Figura 1.7. Cortacogollo accionado por cadenas y correas en cortadora acoplada a tractor. Fuente: Max (Archivo personal).

Con el desarrollo alcanzado en el campo de la mecanización del corte de la caña de azúcar por los grandes productores como son las firmas CAMECO, de Estados Unidos; CLASS alemana; TOFT australiana, SANTAL y CASE brasileñas, el mecanismo cortacogollo también ha sido objeto de constante desarrollo y han surgido diferentes variantes, tanto de mecanismos cortacogollo convencionales, (ver Figura 1.8), como mecanismos cortacogollo desfibradores, (ver Figura 1.9), que más o menos se asemejan en su construcción y productividad.



Figura 1.8. Cortacogollo convencional en cosechadora cañera CASE. Fuente: Manual de explotación combinada cañera CASE (2006)



Figura 1.9. Cortacogollo desfibrador en cosechadora cañera CASE. Fuente: Manual de explotación combinada cañera CASE (2006)

En Cuba se ha alcanzado un alto grado de mecanización al utilizarse en lo fundamental cosechadoras integrales del tipo KTP de fabricación nacional desprovistas de dichos mecanismos. Anteriormente se habían instalado estos en prototipos de cosechadoras como la KCT-1 fabricada en la década de los años 60, (ver Figura 1.5) y en el prototipo experimental KTP-2 diseñada en la URSS y fabricada en Cuba en la década de los años 80, (ver Figura 1.10).

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. Su uso extensivo en la cosecha mecanizada se demoró, en parte por el desconocimiento de su existencia en máquinas análogas que ya lo habían incorporado en sus diseños y a la baja eficiencia que muchos le atribuían, además de la subvaloración de los efectos nocivos que al molerse como materia prima adiciona el cogollo a las mieles para la extracción del azúcar en la industria.



Figura 1.10. Cosechadora cañera prototipo KTP-2, diseñada en la URSS y construida en Cuba. Fuente: Max (Archivo personal)

Para iniciar esta búsqueda de información hay que decir que el órgano de trabajo que se investiga es uno de los mecanismos de limpieza de la máquina cosechadora de caña, por lo cual incide en los indicadores básicos que miden la calidad de trabajo de las mismas y que influye directamente en el proceso posterior de elaboración industrial.

En el desarrollo de las cosechadoras cañeras, tanto en Cuba como en otros países que las producen, se le ha prestado especial atención a la evolución de los mecanismos cortacogollo.

Desde la zafra 1978-1979 se comenzaron a efectuar pruebas a estos mecanismos en las cosechadoras de producción nacional existiendo diferentes criterios de su nivel de efectividad en la eliminación de la materia extraña, según Moreno (1983) sólo un 6% de estos mecanismos alcanzan una eficiencia entre el 80 y 90 % de efectividad, en las pruebas de campo que se realizaron en las áreas de la empresa azucarera “Cristino Naranjo”, de la provincia de Holguín, en 1995, se obtuvo como resultado que la efectividad de este órgano es mucho mayor, (Buzzis, 1996).

1.4. Características e importancia del mecanismo cortacogollo

Este mecanismo tiene la función de eliminar el cogollo antes de que la caña penetre en el interior de la máquina con el objetivo de:

1. Disminuir la cantidad de impurezas a procesar por los demás órganos de trabajo de la cosechadora y la industria.
2. Aumentar la productividad de la máquina en toneladas de caña de azúcar por horas de trabajo.
3. Propiciar una mayor limpieza a la caña cosechada ya que los cogollos son difíciles de eliminar mediante los sistemas neumáticos debido a la semejanza de sus propiedades aerodinámicas con respecto a los trozos de caña.
4. Incidir en el mejor aprovechamiento de los medios de transporte.

5. Elevar la eficiencia del proceso industrial de obtención de azúcar.

La eficiencia de los mecanismos cortacogollo está en dependencia de cuatro factores fundamentales:

1. Características de la caña de azúcar en cuanto a su erección y crecimiento no uniforme en dependencia de las profundidades de siembra, condiciones de cultivo y variedades de caña. (Figura 1.11a y b).
2. Acción de los vientos y las lluvias durante el periodo de crecimiento.
3. Introducción de la tecnología de cosecha basada en la quema de la caña ya que esta incide en la erección de los tallos, al perder estos la resistencia debido a la acción del fuego sobre su corteza.
4. Destreza del operador de la cosechadora cañera.



a)



b)

Figura 1.11. Característica del crecimiento de la caña de azúcar, a), zona de corte del cogollo, b), crecimiento irregular de la caña de azúcar. Fuente: Manual de explotación combinada cañera CASE (2006)

1.5. Empleo del mecanismo cortacogollo en Cuba

En el año 1991 un equipo de diseñadores del CEDEMA, centro rector de la actividad de diseño de equipos agrícolas en el país y que en su momento desarrolló el modelo de cosechadora KTP (M2, KTP-2, KTP-2M, KTP-3, KTP-23, CCA-3 y C-4000), 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. Posteriormente en el año 1995 se fabricaron 25 de estos aparatos que se instalaron en cosechadoras KTP-2M. Estas máquinas se ubicaron en áreas del complejo agroindustrial (CAI) “Cristino Naranjo” de la provincia Holguín donde se les realizó una prueba de explotación controlada, recogida en el informe de Buzzis (1996), a la vez que se le realizaron pruebas de laboratorio para determinar sus parámetros de eficiencia y sus índices tecnológico-explotativos.

Estas pruebas se realizaron en campos con rendimientos agrícolas entre 20 y 80 t/ha y se obtuvo como resultado la composición de la masa vegetal cañera, (ver tabla 1.3).

Tabla 1.3. Composición de la masa vegetal cañera, (Buzzis 1996)

Composición	%
Caña limpia	62,7
Matera extraña total	37,3
Cogollo	20,3
Otras	17

Con la aplicación del mecanismo cortacogollo durante la cosecha 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%.

Con los resultados obtenidos en las pruebas de estos mecanismos y conociendo las tendencias mundiales de su desarrollo, se incorporaron a los nuevos diseños

de cosechadoras cañeras nuevos mecanismos cortacogollo que fueran capaces de aligerar las labores culturales que se les brindan a los campos al terminar la zafra azucarera; y con este fin fue diseñado el cortacogollo desfibrador que se instaló en la cosechadora cañera C-4000 en 1999.

1.6. Tipos de mecanismo cortacogollo

Según Zayas (1997), en la clasificación y análisis de las cosechadoras cañeras, a través de los años han existido diferentes mecanismos cortacogollo del tipo mecánico, los cuales se diferenciaban en la forma en que realizaban la separación del cogollo del tallo; entre estos aparatos tenemos los siguientes:

1. Aparato de impacto, (ver Figura 1.12). En esta variante la caña es sometida a un estado tensional por flexión aplicado por el propio mecanismo y, luego es golpeada para que rompa por la unión entre el cogollo y el tallo.



Figura 1.12. Cortadora de caña dotada de cortacogollo por impacto. Fuente: Max (Archivo personal)

2. Aparato de aplastamiento, (ver Figura 1.13): Aquí las hojas y los cogollos son introducidos entre rodillos donde son triturados, la caña agarrada por el cogollo es trasladada lateralmente, lo cual la obliga a partir por la unión de ésta y el cogollo.
3. Aparato de corte rotatorio, (ver Figura 1.14): Estos consisten en uno o más discos de corte con o sin cuchillas los cuales cortan el cogollo al aproximar el tallo hacia ellos mediante un sistema propio de alimentación. Este aparato a pesar de ser el que más atención requiere por parte del operador debido a que no tiene capacidad selectiva como los anteriores, es el más difundido debido a su sencillez y su forma de funcionar.

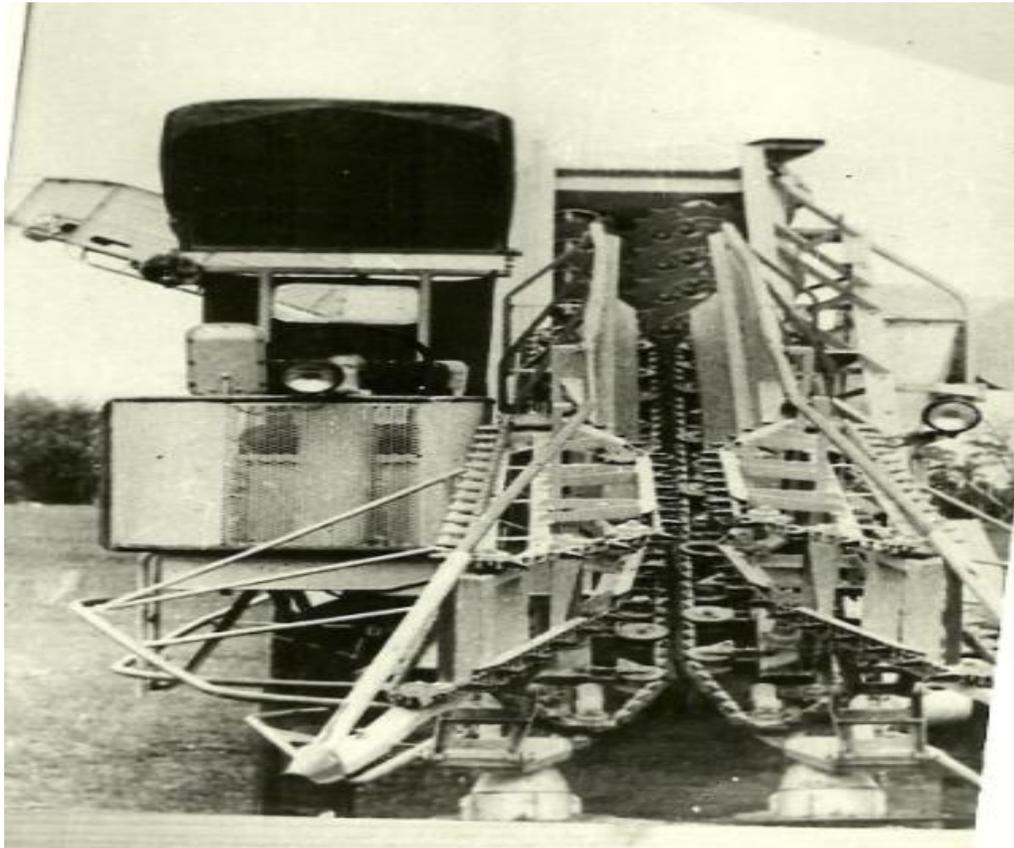


Figura 1.13. Cortadora de caña dotada de cortacogollo por aplastamiento. Fuente: Max (Archivo personal)

Según Pérez Pupo (2006), un factor importante en el desarrollo y modernización del cortacogollo lo fue, sin duda, el uso extensivo de los accionamientos oleohidráulicos. Esto es extremadamente importante para las condiciones de trabajo de la cosecha de la caña donde existe polvo abrasivo y las transmisiones mecánicas están desprotegidas, lo que trae como consecuencia su rápido desgaste y recambio. Asimismo la gran ventaja de las transmisiones hidráulicas de poder transmitir potencia a grandes distancias revolucionó literalmente este órgano de trabajo.

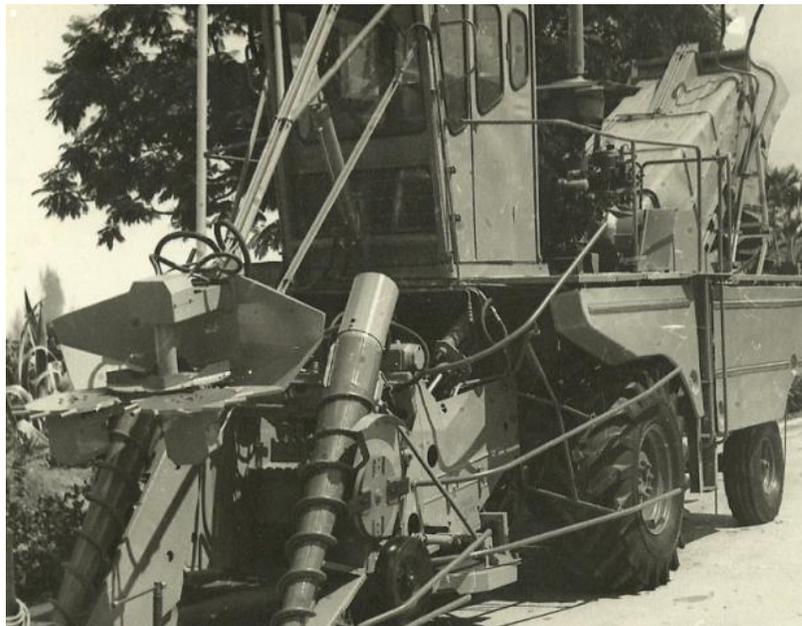


Figura 1.14. Aparato de corte rotatorio (cortacogollo convencional), instalado en cosechadora cañera KTP-2M. Fuente: Max (Archivo personal)

1.7. Mecanismo cortacogollo convencional

El diseño de estos aparatos varió conceptualmente, pues al poder acoplarse la toma de potencia (hidromotor) directamente en el órgano de trabajo, se hizo mucho más sencillo. De tal modo su diseño evolucionó en las primeras versiones hacia un disco alimentador, que armado de dedos, acerca el cogollo a un disco de corte donde el mismo es troceado y lanzado hacia la hilera de caña cosechada,

que ya no será alcanzada por la máquina en esa pasada, es el operador quien utilizando un cilindro hidráulico acerca el disco de corte a la zona donde se agrupan los cogollos del plantón de cañas. En versiones posteriores 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. El principio de funcionamiento 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.

Este tipo de cortacogollo convencional, (ver figura 1.14), tiene el inconveniente de que solamente secciona el cogollo una sola vez y queda esta parte de la caña en el campo cosechado, lo que la convierte 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.

Al culminar las labores de cosecha de la caña se procede, según la tecnología de la que disponga cada productor de caña, a picar, virar la paja con el implemento acondicionador o hasta quemar los residuos cañeros como labor de preparación previa para el cultivo.

1.8. Mecanismo cortacogollo desfibrador

En otros países como Estados Unidos de América, Brasil y Australia han incorporado en el diseño de sus máquinas cosechadoras cañeras el tipo de cortacogollo desfibrador como alternativa para aligerar las labores poscosecha.

Según Cock (1995), la cosecha de la caña en estado verde implica dos grandes retos para el sector azucarero, por un lado, la cosecha en sí, y por otro, el manejo de los residuos en el campo.

Una agricultura productiva con altos rendimientos, generalmente produce también abundante cantidad de residuos agrícolas. Según García (2007) seis millones de toneladas de residuos agrícolas cañeros son separados por la cosecha cañera. 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).

La cosecha en verde de la caña de azúcar contribuye favorablemente al mejoramiento de las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo, principalmente por el aporte de materia orgánica conformada por la hojarasca. Esta hojarasca y otros 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, forma parte del alimento y de la energía utilizada por los organismos responsables de la descomposición de estos compuestos. Esta 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, al promover el reciclaje de nutrientes y, como consecuencia, las necesidades de fertilización pueden ser menores en especial la de nitrógeno, (Molina, 1998).

Briceño (1999) y Villegas (1999) concuerdan en que los residuos de la cosecha en verde de la caña favorecen la infiltración del agua en el suelo, conservan la humedad, mejoran la fertilidad a mediano y largo plazo mediante el reciclado de nutrientes y a la vez, disminuyen la incidencia de malezas.

Dentro de los órganos de trabajo de la cosechadora, el mecanismo cortacogollo desfibrador satisface en gran medida las necesidades de un fácil manejo de los residuos agrícolas, 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.

En el año 1996, un grupo de trabajo del Centro de Desarrollo de la Maquinaria Agrícola de Holguín, diseñó lo que sería el primer cortacogollo desfibrador cubano, que ya en el año 1999 fue colocado como parte de los órganos de trabajo del nuevo modelo de cosechadora cañera C-4000, (Fernández, 2009).

Según Ricardo (2008), el surgimiento del cortacogollo desfibrador, (ver figura 1.15), está condicionado por dos factores fundamentales: al concluir las labores de cosecha para realizar las labores de cultivo generalmente se hace necesario la quema de los campos por la gran cantidad de materia vegetal acumulada, siendo la más perjudicial el cogollo quedado como residuo sobre el campo para cuya extracción se hace necesario el uso de diferentes implementos encareciendo aún más el producto. El segundo factor es el ecológico, si se tiene en cuenta que la quema de los campos 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, aunque, según Rodríguez (2006), las cenizas constituyen un fertilizante inorgánico de reconocido y demostrado aporte de minerales duraderos hasta cinco años en los cultivos agrícolas cañeros.

Este mecanismo cortacogollo desfibrador que se instaló en el nuevo modelo de cosechadora C-4000 en su primera versión, cumplió con su función de

desmenuzar el cogollo en el momento de cosechar la caña, sin embargo su estructura portante, encargada de garantizar la altura de corte del cogollo, (mecanismo paralelogramo) sufrió una deformación prematura en el subconjunto KTP-4G.16.180 C durante la explotación inicial de la máquina. Es este el problema real presentado, por ello se lleva a cabo el análisis del mecanismo paralelogramo en esta investigación.

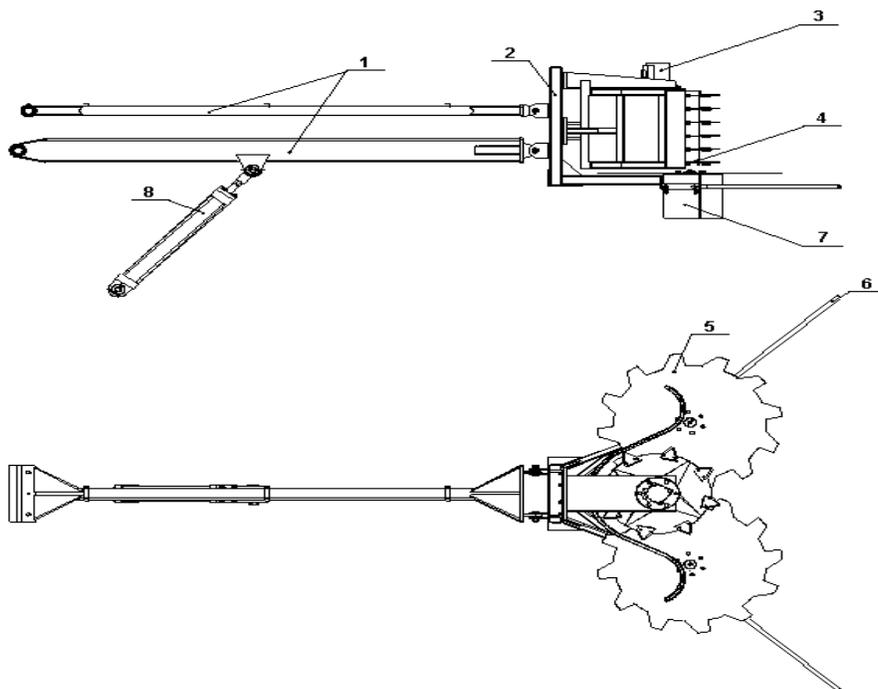


Figura 1.15. Cortacogollo desfibrador (1 mecanismo paralelogramo, 2 estructura soporte, 3 hidromotor, 4 discos de corte, 5 discos alimentadores, 6 bigotes, 7 hidromotores, 8 cilindro hidráulico).Fuente: Elaboración propia

1.9. Conclusiones del capítulo

Luego de estudiar el estado del arte del uso del cortacogollo en las cosechadoras cañeras en el mundo y en Cuba se llega a las siguientes conclusiones:

1. El coeficiente de variación de la altura de la parte aprovechable del tallo aumenta al disminuir la erección de la caña.

2. El mecanismo cortacogollo realiza un trabajo efectivo en campos con un coeficiente de variación de la altura de la parte aprovechable del tallo no mayor del 20%. En estos casos se pueden obtener eficiencias en la separación de los tallos aprovechables del cogollo superiores a un 45% con pérdidas menores al 1.8%, (Zayas, 1997)
3. Que para garantizar los regímenes de trabajo económico que se le exigen a las cosechadoras (5% de pérdidas y 5% de materias extrañas en la masa vegetal procesada) se hace necesario buscar nuevos órganos de limpieza que logren alta eficiencia en la eliminación de impurezas.
4. Que para aumentar el por ciento de caña limpia es necesario la introducción de nuevos órganos de limpieza, que combinados con los que existen en la actualidad, elevan la eficiencia de la separación de materias extrañas en las cosechadoras.
5. Que además de mejorar la calidad de la caña cosechada es de vital importancia el desmenuzamiento del cogollo para facilitar las labores de poscosecha y la integración de esta materia extraña al suelo como materia orgánica.
6. Que independientemente de la utilización de mecanismos cortacogollo desfibradores en máquinas producidas por firmas reconocidas mundialmente como AUSTOFT, CAMECO y JOHN DEERE, en Cuba no se reportó su uso hasta 1999 cuando se instaló en la cosechadora C-4000.
7. Que es necesario realizar un análisis tensional del mecanismo paralelogramo, para determinar las causas de la deformación prematura ocurrida durante las pruebas de la cosechadora cubana C-4000.

2. ANÁLISIS DEL MECANISMO CORTACOGOLLO DESFIBRADOR PARA LA COSECHADORA CUBANA CCA-5000

2. ANÁLISIS DEL MECANISMO CORTACOGOLLO DESFIBRADOR PARA LA COSECHADORA CUBANA CCA-5000

Es de vital importancia la eliminación de las materias extrañas en forma de cogollos y hojas verdes que tanto inciden negativamente en el aprovechamiento del transporte y en el proceso de fabricación de azúcar. La eliminación del cogollo antes de entrar en el proceso tecnológico de la cosechadora trae aparejado un trabajo más desahogado de la misma y, por consiguiente, una mayor productividad al no tener que procesar con sus órganos de trabajo esta gran cantidad de masa vegetal.

Si por una parte el uso del mecanismo cortacogollo influye de forma positiva en el aprovechamiento eficiente de los medios de transporte y en el proceso fabril, no ocurre lo mismo con las labores de poscosecha, pues las mismas se hacen más engorrosas en la medida en que quede más masa vegetal en el campo cosechado, esto traerá consigo una mayor cantidad de uso de implementos agrícolas para el manejo de estos residuos cañeros con un encarecimiento del producto final. Según Ponce (2008) la preparación del suelo requiere más del 70% de la demanda total de energía en las labores agrícolas.

Para lograr menos dificultades en el manejo de los residuos cañeros tiene una gran importancia la utilización del mecanismo cortacogollo desfibrador en la cosechadora cañera, el mismo garantiza un desmenuzamiento de esta masa vegetal y su rápida incorporación al suelo como materia orgánica sin la necesidad de un aumento en la utilización de implementos en las labores de poscosecha. Según Navarro (2008), el cultivo sin laboreo reduce los costos de insumos, beneficia la calidad del terreno, disminuye la erosión y la contaminación ambiental. Este tipo de cortacogollo ha sido utilizado por diferentes firmas productoras de cosechadoras cañeras, entre las que más se destacan tenemos la CAMECO y AUSTOFT, de producción norteamericana y australiana respectivamente, también ha sido utilizado en las máquinas que produce Brasil del tipo BRASTOFT, SANTAL y CASE de reciente producción que se encuentran cosechando en Cuba, todas estas lo usan de forma opcional.

En Cuba se ha tomado conciencia paulatinamente de la necesidad del uso de este órgano de limpieza. En el año 1995 se fabricaron 25 de estos aparatos que sobre cosechadoras KTP-2M fueron ubicados en áreas del CAI "Cristino Naranjo" de la provincia de Holguín; estos fueron del tipo convencional.

En la actualidad, según Tarea Técnica de la Dirección de Mecanización MINAZ (ver anexo 1), la cosechadora debe poseer un mecanismo cortacogollo desmenuzador regulable en altura en un rango de uno a cuatro metros.

En la materialización de esta exigencia se ha trabajado con el diseño de la cosechadora cañera CCA-5000, diseñada por un equipo de diseñadores del CEDEMA que se ha propuesto instalar en este nuevo modelo de cosechadora el aparato cortacogollo desfibrador que ha sido objeto de investigación desde el año 1999.

2.1. Conjunto de los órganos de trabajo

El aparato cortacogollo desfibrador instalado en la cosechadora CCA-5000 está compuesto por dos guías denominadas bigotes, encargados de dirigir el flujo de cogollo hacia los discos alimentadores, que envían el cogollo de la caña hasta el centro de la máquina donde se encuentra una torre de discos provista de 48 segmentos de corte trapezoidales, encargados de cortar el cogollo conjuntamente con las hojas verdes y secas en pedazos no mayores de 90 mm de largo, esta hojarasca desmenuzada es lanzada por la propia torre de discos hacia la parte cosechada del campo a través de una guardera, ofreciéndole la menor resistencia posible en la trayectoria seguida por estos una vez cortados, para que puedan ser evacuados eficientemente, la altura de corte del cogollo es garantizada por un mecanismo paralelogramo, de estructura tubular, accionado por un cilindro hidráulico, en este mecanismo paralelogramo se soportan los órganos de trabajo antes mencionados.

Los órganos de trabajo son accionados por motores hidráulicos que se fijan en la estructura portante.

En general los órganos de trabajo de este mecanismo están constituidos por (ver Figura 2.1):

1. Elementos recolectores
 - a) Discos alimentadores (órganos activos)
 - b) Bigotes (órganos pasivos)
2. Elementos de corte
 - c) Torre de discos de corte (órganos activos)
3. Elementos guionadores del flujo de la masa cortada (inactivos).
 - d) Guardera

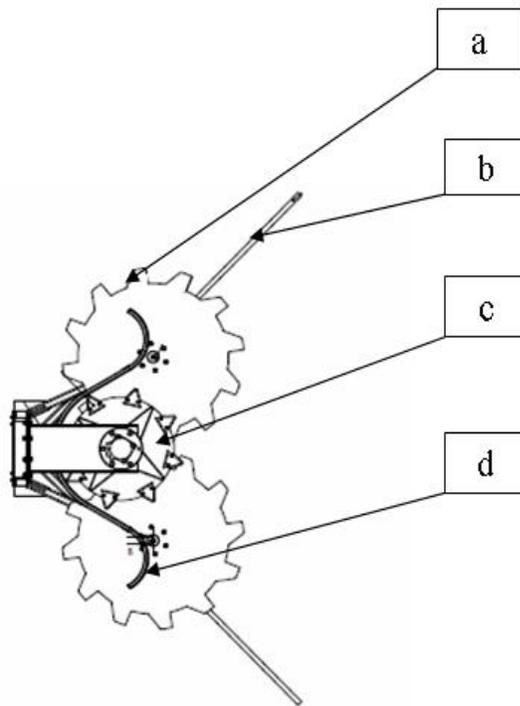


Figura 2.1. Órganos de trabajo del mecanismo cortacogollo desfibrador. Fuente: Elaboración propia

La diferencia fundamental entre el cortacogollo convencional y el desfibrador, en cuanto a sus órganos de trabajo, está dada en que el primero sólo cuenta con un disco soporte de los segmentos de corte, que en total son ocho, mientras el

segundo está provisto de una torre compuesta por seis discos, que en total portan 48 segmentos.

2.1.1. Torre de discos

La torre de discos es el órgano que soporta los segmentos de corte encargados de desmenuzar en pequeños pedazos los cogollos de la caña y lanzarlos hacia la parte cosechada del campo.

Con la frecuencia de rotación de la torre de discos fijada en 1020 rpm, (Lebeque, 2000), se realizaron las pruebas de funcionamiento al mecanismo cortacogollo desfibrador instalado en la cosechadora cañera C-4000, para evaluar la eficiencia del mismo en el triturado del cogollo.

Las pruebas se llevaron a cabo en el año 1999 en áreas del CAI” Antonio Maceo”, provincia de Holguín, Cuba, en un campo de variedad C 120-78, con crecimiento erecto y un rendimiento cañero de 80 mil @/cab (67,8 t/ha). El experimento se realizó en dos tramos del campo tomados de forma aleatoria, con una composición cada uno de 400 tallos de caña. Para evaluar el trabajo del cortacogollo se efectuó el despalillo de muestras de cogollos y fueron separados los cogollos que quedaron sin triturar luego de haber pasado la máquina cosechadora por el área escogida para el experimento.

En las pruebas de campo realizadas al modelo de cosechadora C-4000 en su primera versión, este mecanismo realizó un trabajo sin fallos mecánicos y alcanzó una efectividad en el triturado del cogollo a los cuales se enfrentó en el orden del 97,5 y 98,5%, resultado que se muestra en la tabla 2.1.

Tabla 2.1. Eficiencia en la trituración del cogollo

Cantidad de tallos	Cogollos triturados	Cogollos sin triturar	Eficiencia %
400	390	10	97.5
400	394	6	98.5

2.1.2. Mecanismo paralelogramo, estructura portante y regulador de la altura de corte del cortacogollo

El conjunto mecanismo paralelogramo está compuesto por dos subconjuntos que, como su nombre indica, están situados de forma paralela el uno con el otro y anclados por su parte trasera en la parte delantera del chasis principal de la cosechadora, estos soportan a través de cuatro piezas soldadas en su parte delantera la masa de los órganos de trabajo del mecanismo cortacogollo. En el cortacogollo convencional esta masa era de 250 kg, y llegó a alcanzar en el mecanismo desfibrador un peso de 400 kg, lo que representa un incremento de masa del segundo con respecto al primero de un 37,5%.

Este conjunto es el encargado de efectuar la regulación de la altura de corte del mecanismo de forma sencilla, sin que el operador tenga que bajarse de la cabina, lo que posibilita que la cosechadora realice el corte en campos con alturas desde uno a cuatro metros según tarea técnica del MINAZ (2009). Si se conoce además que la altura de la caña está en dependencia del rendimiento, la variedad de esta, la profundidad de siembra y los factores climáticos, se llega a la conclusión de que la variación que experimenta este parámetro agrotécnico, puede estar comprendida en la altura a la que se hace referencia en las exigencias del MINAZ. Por todo esto, el operador debe fijar su atención en la altura de corte del mecanismo cada cierto tiempo en una misma hilera de caña a cosechar por lo que el accionamiento del conjunto debe permitir rapidez y seguridad de trabajo.

Requisitos que deberá satisfacer el conjunto regulador de la altura de corte.

1. Regulación sin escalonamientos.
2. Poseer una amplia gama de regulación.
3. Diseño ligero.
4. Que su accionamiento sea seguro y rápido.

Luego del análisis de la información existente sobre la agrotécnica de la caña de azúcar, (ver anexo 1), se plasman en la tabla 2.2 las exigencias referidas al cortacogollo.

Tabla 2.2. Exigencias agrotécnicas para el cortacogollo

Exigencias de trabajo	Parámetros
Altura mínima de corte (mm)	1000
Altura máxima de corte (mm)	4000
Principio de funcionamiento	Paralelogramo
Accionamiento	Hidráulico

2.2. Cálculo del mecanismo paralelogramo del cortacogollo desfibrador por el método de elementos finitos

El método de los elementos finitos da la posibilidad de realizar un análisis de todos los esfuerzos y deformaciones que actúan simultáneamente en una pieza o conjunto de piezas al ser sometidas a un sistema de cargas, (Borrego 2005).

Desde el punto de vista de ingeniería, el análisis de elementos finitos se origina como el método de análisis estructural de matrices de desplazamiento, el cual surge luego de varias décadas de investigación, principalmente en la industria aeroespacial inglesa, como una variante apropiada para computadores, (Wikipedia 2010).

El método de elementos finitos se ha impuesto para la mayoría de los casos prácticos. A partir de su consolidación en el área de Mecánica de Sólidos, el método se extendió a otras áreas de la física, tales como la mecánica de fluidos, la transferencia de masa y calor, el electromagnetismo, (Hurtado 2010).

Según Calzadilla (2005), el desarrollo y obtención de estructuras formadas por piezas constituye una de las partes más importantes en el trabajo de ingenieros y arquitectos. Las tareas de desarrollo de la estructura de las piezas están indisolublemente vinculadas con el desarrollo técnico de las máquinas en general. Debe entenderse como estructura 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.).

Según Martínez (2009), las circunstancias que dan lugar a sobrecargas en las máquinas e implementos agrícolas se ven acrecentadas en Cuba debido a exigentes condiciones de los terrenos y características pesadas de los suelos, siendo habituales en la agricultura cubana los ejemplos de máquinas e implementos, tanto de fabricación nacional como de importación, que sufren deformaciones en su estructura o roturas frecuentes en sus órganos de trabajo.

Las cosechadoras cañeras transitan por terrenos muy irregulares, ya sea cuando se encuentran cosechando la caña o en los traslados de un campo a otro, largas distancias por carreteras y caminos para iniciar nuevos cortes en otros lugares y hasta el traslado desde la fábrica productora hasta medianas distancias donde las mismas prestarían servicio. Por todo lo anteriormente planteado, estas cosechadoras están sometidas a cargas dinámicas que varían constantemente según el relieve por donde transiten, estas cargas constituyen un factor muy dañino en cuanto a fiabilidad y resistencia de los diferentes órganos de trabajo de los que se componen las cosechadoras y, por consiguiente, influyen directamente en la productividad y vida útil del equipo.

El diseño inicial del cortacogollo desfibrador de la cosechadora cañera C-4000 estuvo concebido en su primera variante, en lo que respecta al mecanismo paralelogramo, por una estructura tubular, compuesta por dos subconjuntos, uno con código KTP-4G.16.180 C y el segundo con código KTP-4G.16.020. El conjunto KTP-4G.16.180 C estaba formado por un tubo cilíndrico de diámetro exterior de 127 mm, con ocho milímetros de espesor en su pared. Este tipo de tubo se había utilizado en un mecanismo cortacogollo convencional y no se presentaron deformaciones. Al ser utilizado este tubo en el mecanismo cortacogollo desfibrador el mismo se deformó, (ver figura 2.2), por la parte inferior donde se colocaron las piezas de fijación del cilindro hidráulico, que accionaba dicho mecanismo para garantizar la altura de corte necesaria en el momento de cosechar la caña.

El período de asentamiento y prueba de la cosechadora C-4000 abarcó desde el 21 de diciembre de 1999 hasta el 11 de abril del 2000, la obtención de datos

experimentales se inició el día 25 de febrero y se prolongó hasta el 11 de abril, es decir, que la máquina estuvo bajo observación 113 días, de ellos 37 estuvieron dedicados al cronometraje, vale señalar que se perdieron diez días debido a traslados, lluvias y problemas organizativos. La cosecha se efectuó en caña verde, con un rango de rendimientos de los campos entre, 34 y 101,7 t/ha, (Lebeque, 1999). Estas pruebas se realizaron en el CAI “Antonio Maceo” en el municipio Cacocúm de la provincia de Holguín y en el CAI “Nicaragua” de la propia provincia. Al concluir esta etapa de asentamiento y prueba, la cosechadora tenía un acumulado de 3900 toneladas (343122@) de caña cortada y presentó la deformación a que se hizo referencia. Como se puede apreciar este volumen de caña cortada es muy poco significativo para la ocurrencia de deformaciones apreciables en la parte estructural de una cosechadora cañera.



Figura 2.2. Subconjunto KTP-4G.16.180 C deformado. Fuente: Elaboración propia

Para determinar las causas de la ocurrencia de esta falla en el mecanismo paralelogramo, se realiza esta investigación, utilizando los resultados de otros estudios realizados a las cosechadoras cañeras cubanas y en específico, los resultados obtenidos con las pruebas extensométricas realizadas a la combinada cañera KTP-2M, por presentar esta dentro de sus órganos de limpieza un mecanismo cortacogollo del tipo convencional.

Para realizar el análisis se utilizó el método de cálculo por elementos finitos (*MEF*), por ser, según Calzadilla (2005), el más general y versátil de los métodos numéricos en la obtención de resultados.

2.2.1. Estudio estático del mecanismo paralelogramo del cortacogollo desfibrador de la cosechadora C-4000

2.2.1.1. Construcción del modelo geométrico

Para la construcción del modelo geométrico se acudió al método ensamble de componentes, se pueden construir ensambles complejos formados por muchos componentes e incluir en ellos tanto piezas individuales como subensambles. Todos los componentes usados están vinculados al archivo del ensamble. En la creación del modelo se usó el diseño ascendente, que consiste en la formación de ensambles a partir de piezas previamente diseñadas, las mismas se insertaron en el ensamble y se relacionaron unas con otras, según lo exigido para el diseño de ensamble. Cada una de las piezas se creó partiendo de un croquis o boceto en 2D, que con posterioridad y, aplicando las diferentes operaciones, llegaron a generar las piezas en 3D. Algunas de estas piezas, que tenían en su configuración radios de redondeo, vértices agudos, etc., fueron simplificadas en el modelo creado para una mejor interrelación con el paquete de diseño usado para el análisis por elementos finitos, esto permite una mayor rapidez en el cálculo y se usa menos espacio de almacenamiento en el disco duro de la computadora.

El ensamble principal fue generado respetando la propia estructura del conjunto paralelogramo tal como fue concebido en el proyecto, el modelo (ver Figura 2.3) al final quedó compuesto por:

- 1 ensamble principal.
- 3 subensambles o subconjuntos auxiliares de primer nivel.
- 1 subensamble o subconjunto auxiliar de segundo nivel.
- 37 piezas.
- 109 relaciones de posición entre piezas y subensambles.

2.2.1.2. Cálculo de las fuerzas aplicadas al mecanismo paralelogramo

Para determinar las cargas que actúan en el mecanismo paralelogramo se realizó un pesaje del mecanismo cortacogollo desfibrador, se utilizó un dinamómetro mecánico de 2.5 t de capacidad, con una precisión de 50 kg, con un error de $\pm 2 \%$

en el taller de prototipo de la fábrica "60 Aniversario de la Revolución de Octubre", en el momento de su ensamblaje en la cosechadora C-4000, se obtuvo un valor de 400 kg.

En el análisis estático del mecanismo paralelogramo se aplicó esta fuerza como una carga remota (ver figura 2.3), se le aplicaron restricciones para que el modelo se mantuviera rígido, en la colocación de la carga remota se tomó como referencia la cara sombreada (ver figura 2.3), el centro de coordenada se fijó en dicha cara. Las diferentes dimensiones en sus respectivos ejes de coordenadas las proporciona el propio paquete de cálculo, estas coordenadas constituyen datos de entrada para el análisis de mucha importancia, las mismas señalan la posición exacta de la carga en el mecanismo paralelogramo. Estas coordenadas son las siguientes: $X= 491, 23 \text{ mm}$, $Y=35,81 \text{ mm}$, $Z=0$

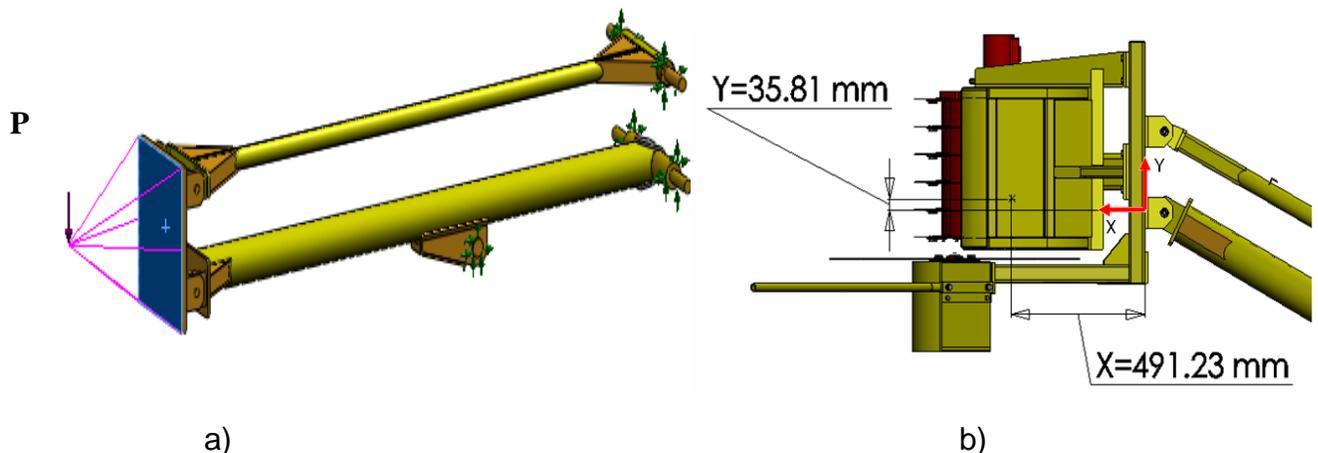


Figura 2.3. a) Modelo para el análisis estático del mecanismo paralelogramo (tubo de sección circular), b) coordenadas del centro de masa del mecanismo cortacogollo.

Para este modelo se realizó un análisis estático lineal, se estableció que todas las piezas componentes de la estructura soldada son de acero de construcción Ac3; se malló el modelo con elemento tipo tetraedro de diez nodos, con tres grados de

libertad por nodo, se obtuvieron para el mismo 45 068 elementos finitos y 85 154 puntos nodales.

Se calculó la carga remota pseudodinámica, que actúa en el mecanismo paralelogramo, teniendo en cuenta el coeficiente dinámico k , obtenido en las pruebas extensométricas realizadas al modelo KTP-2M con mecanismo cortacogollo, esta fuerza se calculó como sigue:

$$F = p \cdot k = 880kg \quad (1)$$

Donde:

$p=400$ 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).

Para el análisis por el método de los elementos finitos se utilizó el COSMOSWorks 2008, que es el paquete por excelencia para cálculos de este tipo incorporado al SolidWorks. Con esta versión del COSMOS se realizó el cálculo estático. El referido software además de las posibilidades mencionadas anteriormente tiene la capacidad de análisis de: frecuencia, pandeo, análisis térmico, así como análisis dinámico lineal.

Los software de análisis por elementos finitos siguen una secuencia lógica de cálculo para poder solucionar el problema, de ahí que en los datos iniciales para el análisis es preciso señalar el tipo de análisis que se efectuará, propiedades del material, restricciones y las cargas aplicadas, estos datos son de suma importancia, pues de ellos depende la certeza en los resultados que se obtendrán.

Se determinó partir de plantear un análisis estático lineal con mallado sólido con elemento tipo tetraedro de diez nodos con tres grados de libertad por nodo.

2.2.1.3. Asignación de material

El resultado de la pieza o ensamblaje a analizar depende del material del que se compone. A todos los elementos componentes del modelo del mecanismo paralelogramo se les consideró con propiedades físicas isotrópicas propias del material de acero de construcción Ac3 y se seleccionaron de la biblioteca de materiales solidworks, (ver figura 2.4).

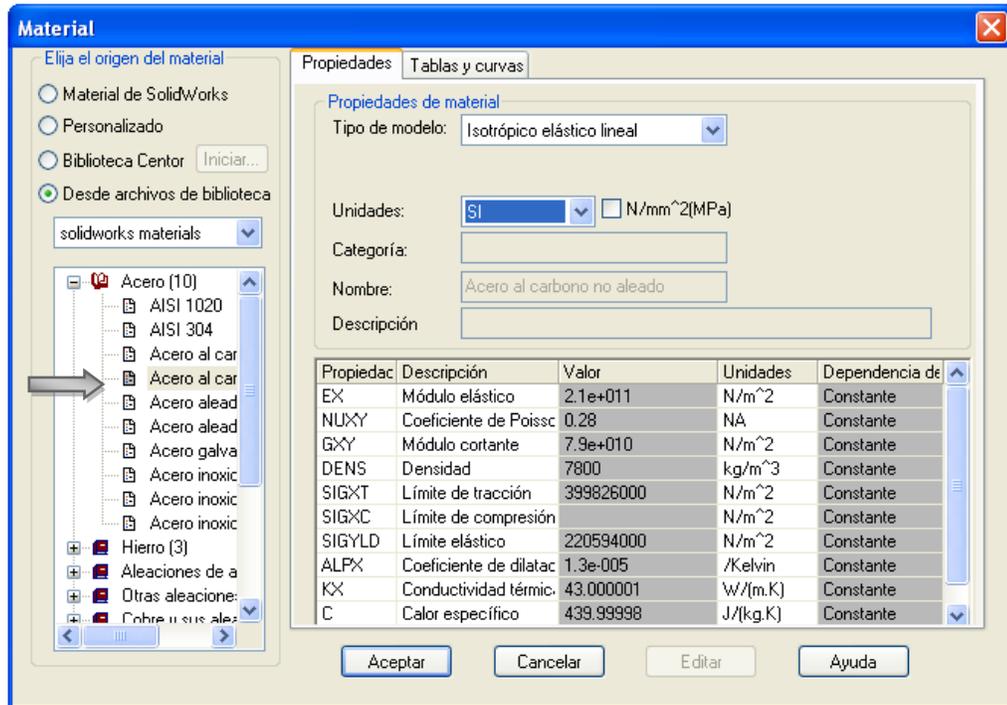


Figura 2.4. Propiedades mecánicas del acero Ac3 según biblioteca de materiales de Solidworks

2.2.1.4 Aplicación de las restricciones

Las restricciones se colocaron en la parte trasera de los subconjuntos KTP-4G.16.020 y KTP-4G.16.180 C, (ver figura 2.3), además se restringió al subconjunto KTP-4G.16.180 C por su parte inferior donde se fija el cilindro hidráulico que garantiza los cambios de altura de dicho mecanismo, ya que como se planteó se escogió un esquema de cálculo donde se considera limitado el movimiento del mecanismo paralelogramo. Todas las traslaciones son iguales a cero.

2.2.1.5. Mallado del modelo

El mallado es un paso de gran importancia en el análisis. El mallado automático en COSMOSWorks 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.

Los paquetes de software comercial de gran escala, usualmente proveen facilidades para generar la malla, salidas gráficas de entradas y salidas, las cuales facilitan la verificación de ambos datos de entrada e interpretación de resultados, (método de elementos finitos, 2010).

El mallado del mecanismo paralelogramo se realizó con las siguientes características:

- Tipo de mallado: Estándar (es el mallado por defecto que utiliza el software, pero a su vez, es el más rápido). Esta malla tomó un valor de 28,316 mm. Para determinar el tamaño adecuado de la malla en el cálculo del modelo del mecanismo paralelogramo, se realizaron en total cuatro repeticiones de mallado y se obtuvo la convergencia de malla, dada en % (ver tabla 2.3), tomando para el cálculo el valor de 20, (ver figura 2.5), esta malla presentó una divergencia de 6,7% con respecto al número de malla 25; para maquinarias agrícolas este % debe estar entre tres y diez, (Estrada, 1999).

Tabla 2.3. Convergencia en el mallado

Tamaño del elemento mm	Número de nodos	Número de elementos	Tensión N/m ²	Desplazamiento mm	%
28.316	47961	25394	7,143e+007	2,493e-003	
25	58820	31019	9,299e+007	3,135e-003	23
20	85154	45068	9,97 e+007	3,256e-003	6.7
15	149833	80756	1,004e+008	3,301	0.69

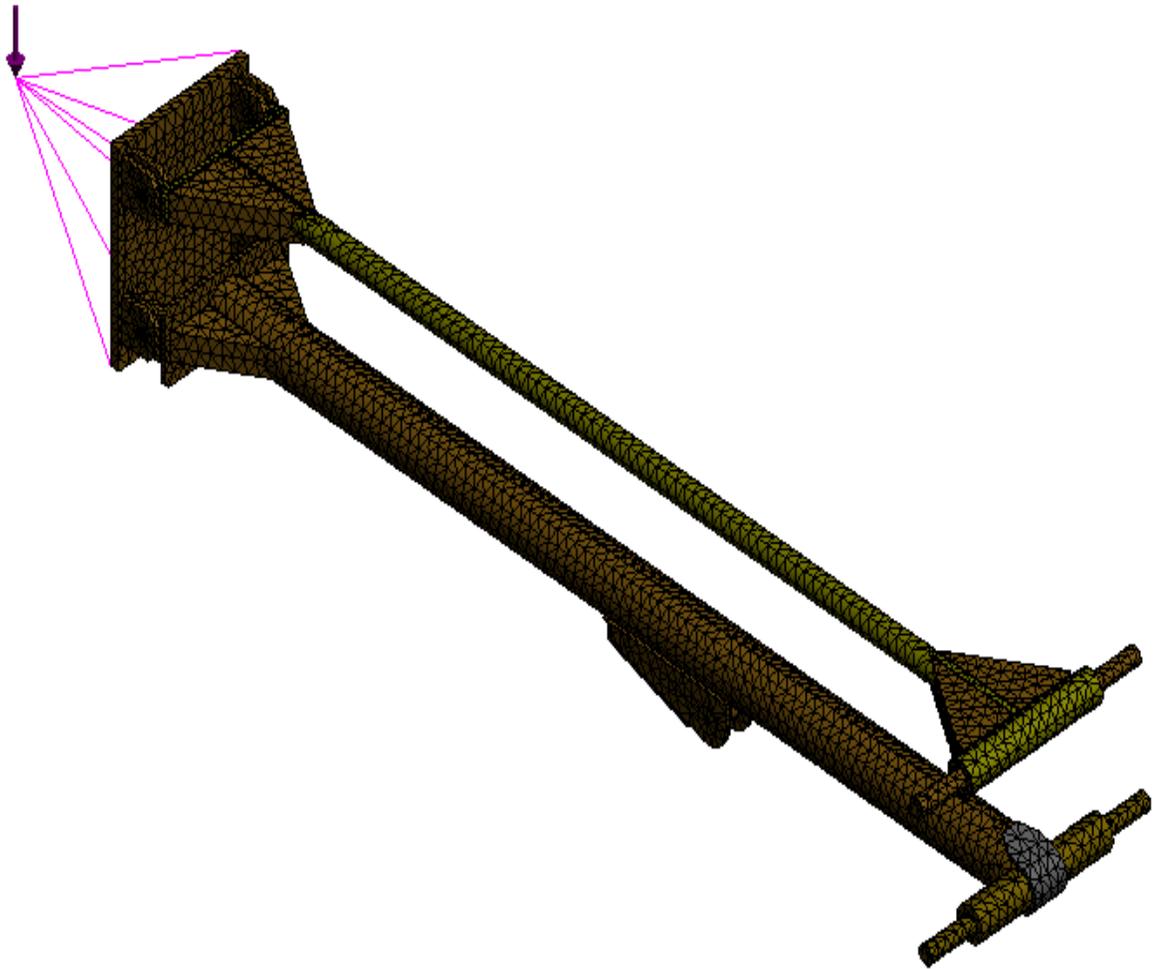


Figura 2.5. Modelo del mecanismo paralelogramo mallado (tubo de sección circular)

2.2.1.6. Análisis estático

Según Calzadilla (2005), 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.

En el análisis estático no se tienen en cuenta 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.

Para realizar el análisis estático se usó el procedimiento de cálculo siguiendo la secuencia que requiere el paquete para cálculos COSMOSWorks, (ver epígrafe 2.6).

Este análisis estático se realiza para determinar las causas que originaron la deformación de parte de la estructura del mecanismo paralelogramo utilizado en el mecanismo cortacogollo desfibrador instalado en la cosechadora cañera cubana C-4000.

Los resultados que se obtengan de este análisis serán aplicados en el desarrollo de la cosechadora cañera de producción nacional CCA-5000, que es el modelo modernizado del mencionado anteriormente y que mantiene en su esquema tecnológico en cortacogollo desfibrador como un órgano de limpieza para mejorar la calidad de la caña cosechada.

Como se analizó en el capítulo anterior, son muchos los factores que influyen en el crecimiento de la caña de azúcar en lo que respecta a su erección por lo que la altura del cogollo tiene una variación considerable.

Teniendo en cuenta que el cortacogollo trabaja en diferentes posiciones, según la altura de la caña a cosechar y cumpliendo con las exigencias de la tarea técnica presentada por el MINAZ, (altura máxima de cuatro metros y la altura mínima un metro), se realizaron tres cálculos al mecanismo cortacogollo, a la altura máxima,

a la mínima y cuando el mecanismo se encontraba en posición horizontal, para determinar en cuál de las tres posiciones se alcanzaban las tensiones de mayor valor, estas tensiones se obtuvieron al encontrarse el mecanismo en posición horizontal, (ver tabla 2.4), por lo que se realizaron todos los cálculos de las dos variantes analizadas con el cortacogollo en esta posición.

Tabla 2.4. Resultado del cálculo en diferentes posiciones del cortacogollo

Posición del cortacogollo	Valor de la tensión (MPa)
Altura máxima (cuatro metros)	213,6
Altura mínima (un metro)	215,1
Horizontal	219,3

Después de terminado el análisis, se obtuvo como resultado que el mecanismo paralelogramo en su primera variante con el tubo de diámetro 127 mm por ocho de espesor, no cumple con los parámetros de resistencia requeridos para su buen funcionamiento, su coeficiente de seguridad era igual a uno y las tensiones máximas se concentran en el punto por donde ocurrió la deformación que provocó la sustitución de este componente (ver gráfica de tensiones, figura 2.6).

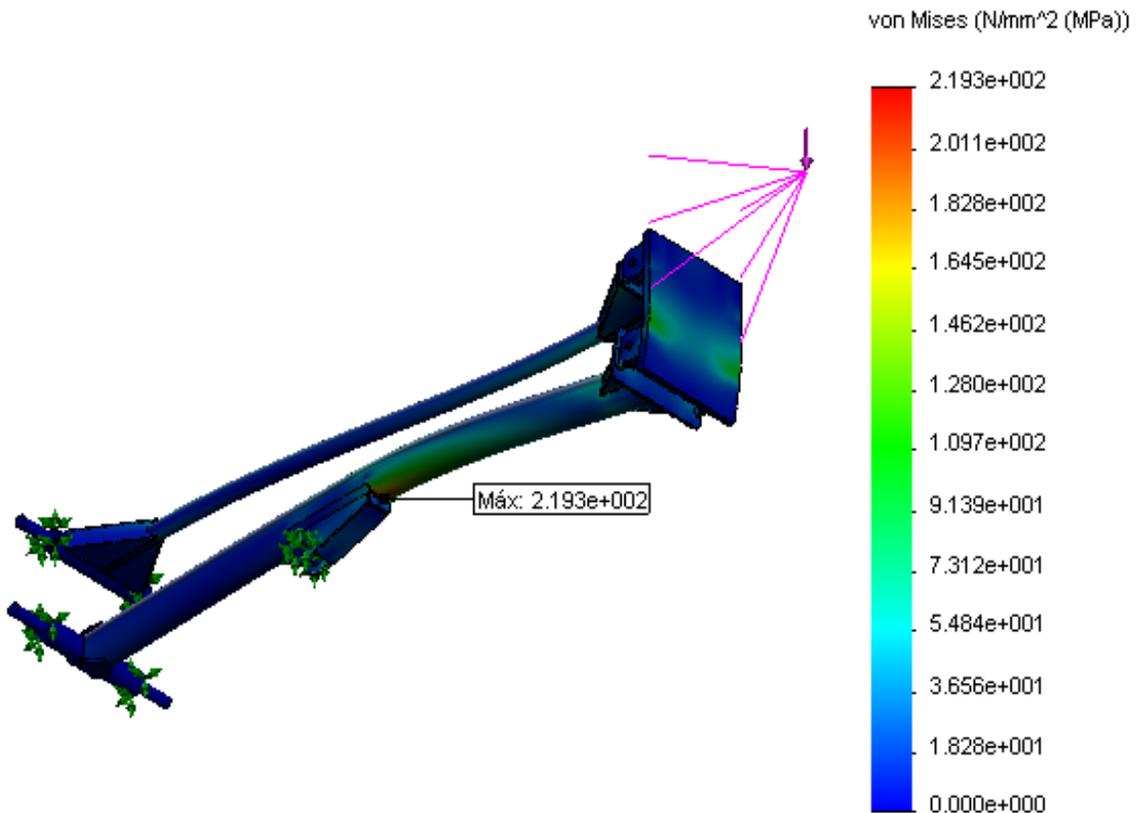


Figura 2.6. Gráfica de tensiones equivalentes de Von Misses (tubo de sección circular)

2.2.1.7. Condiciones para la sustitución del tubo de sección circular por tubo de sección rectangular en el subconjunto KTP-4G.16.180 C

En este caso, una vez realizado el análisis estático del mecanismo paralelogramo (ver epígrafe 2.2.1.6) se pasa al análisis estático de la estructura del subconjunto KTP-4G.16.180 C con sección rectangular (tubo 160 x 80 x 8).

Para este análisis se cumplió con las mismas condiciones y se llevó la misma secuencia de cálculo con las que se realizó el análisis estático de la variante anterior. Para facilitar el análisis se elaboró un modelo simplificado, (ver figura 2.7), donde fueron colocadas las cargas y restricciones necesarias para efectuar el análisis de forma similar al modelo anterior.

A todos los elementos componentes del modelo del mecanismo paralelogramo se les consideró con propiedades físicas isotrópicas propias del material de acero de construcción Ac3 y se seleccionaron de la biblioteca de materiales de Solidworks.

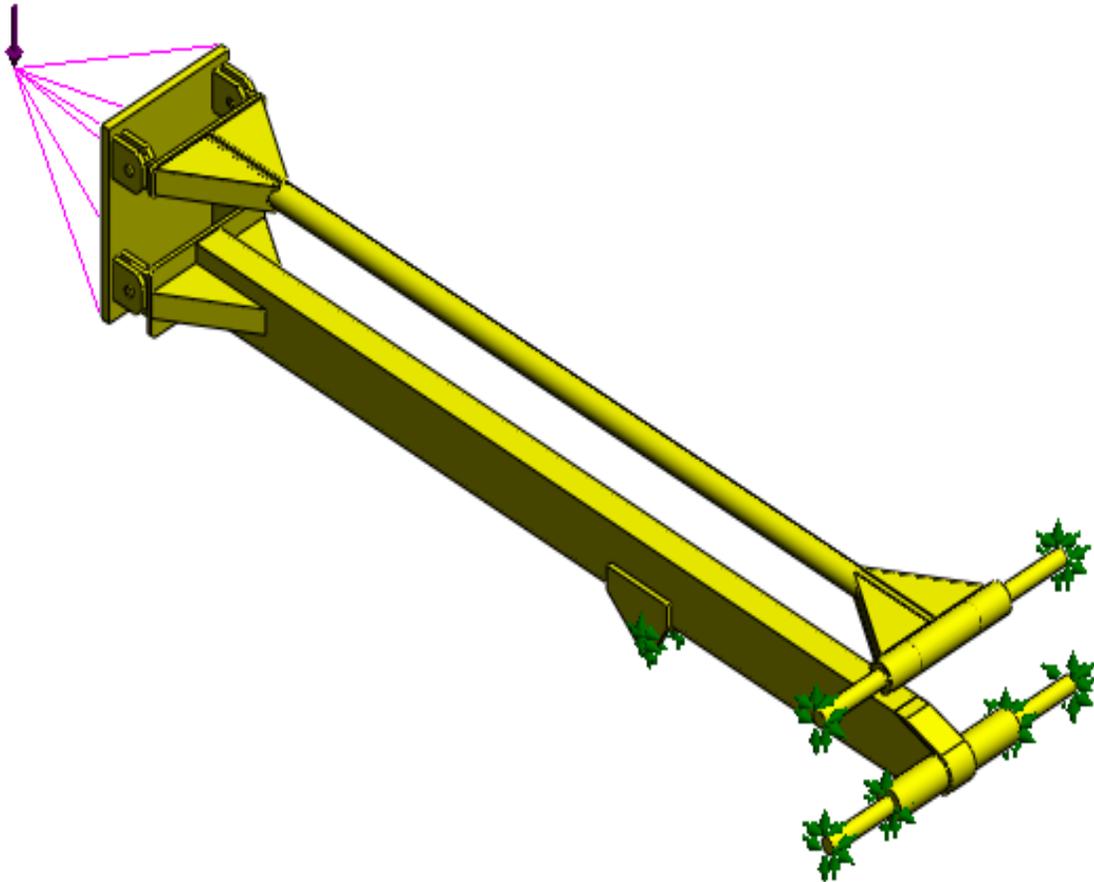


Figura 2.7. Modelo para el análisis estático del mecanismo paralelogramo (tubo de sección rectangular)

El mallado se realizó con el mismo tipo de elemento finito y teniendo en cuenta la convergencia de malla, (ver epígrafe 2.2.1.5), se tomó 20 como tamaño del elemento, y quedó el modelo mallado como se muestra en la figura 2.8, con 89 353 nodos y 47 472 elementos finitos.

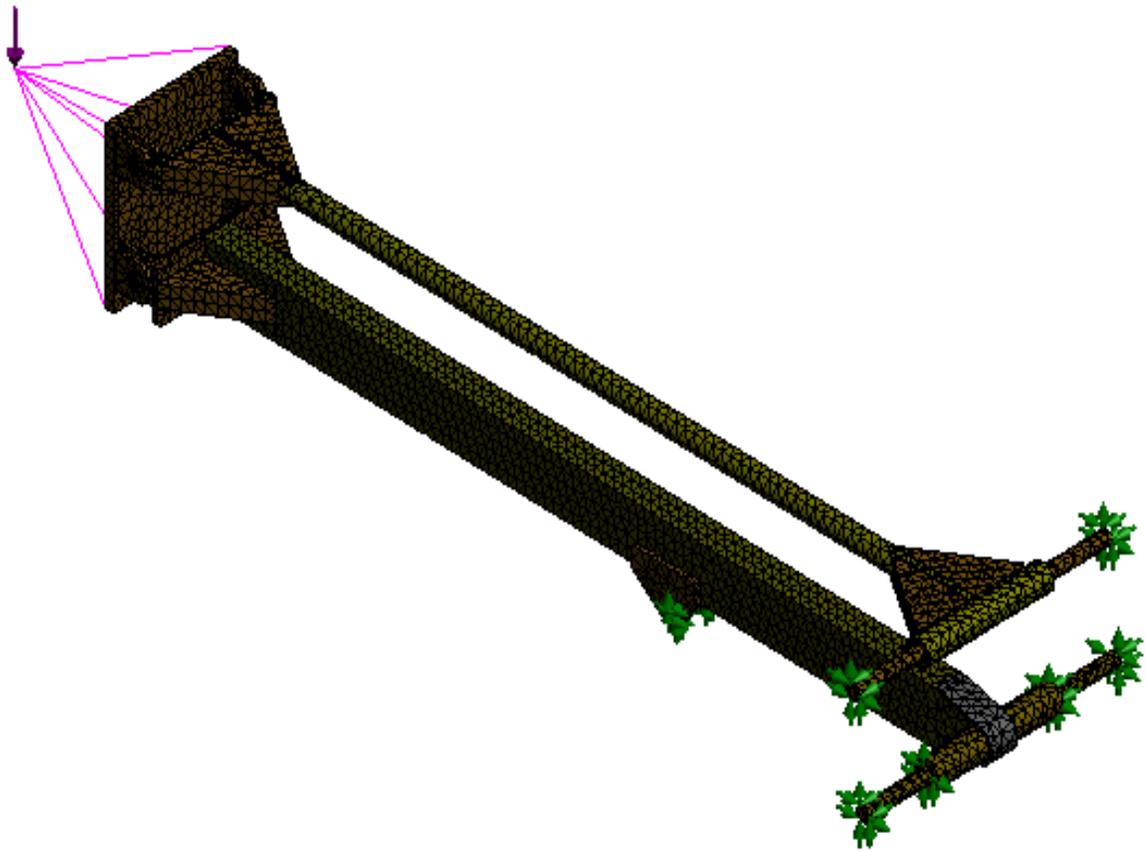


Figura 2.8. Modelo del mecanismo paralelogramo mallado (tubo de sección rectangular)

Luego de realizado el análisis de la variante con el tubo de sección rectangular, se obtuvo como resultado que los valores de tensión alcanzaron $150,3 \text{ N/mm}^2$ (MPa) lo que conlleva a un coeficiente de seguridad de 1,47 en condiciones de cargas extremas, el límite elástico del acero para la construcción Ac3 seleccionado es de $220,5 \text{ N/mm}^2$ (MPa), (ver figura 2.9), esto corrobora la correcta elección del perfil seleccionado en la sustitución del anterior.

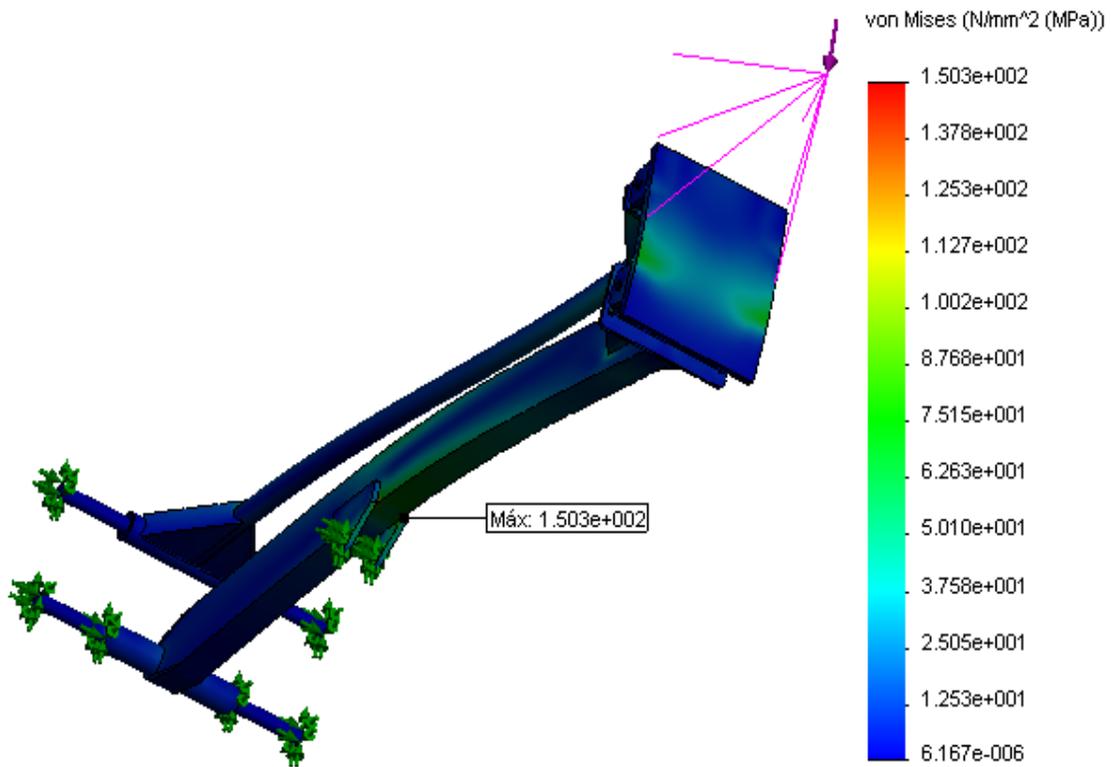


Figura 2.9. Gráfica de tensiones (tubo de sección rectangular)

2.2.2. Análisis dinámico lineal del mecanismo paralelogramo del cortacogollo desfibrador de la cosechadora cañera cubana CCA-5000

Los estudios estáticos suponen que las cargas son constantes o se aplican muy lentamente hasta que alcanzan sus valores completos. Debido a esta suposición, la velocidad y aceleración de cada elemento del modelo se supone nula. Como resultado, los estudios estáticos desprecian las fuerzas de inercia y amortiguación. Para muchos casos prácticos, las cargas no se aplican lentamente y cambian con el tiempo o la frecuencia. Para esos casos, se utiliza un estudio dinámico, (Tutorial Solidworks, 2008).

2.2.2.1. Determinación del coeficiente dinámico de la máquina

Los valores dinámicos se obtienen a partir de las mediciones en el terreno con la colocación de sensores extensométricos sobre los elementos, con el fin de realizar

los cálculos posibles en las secciones peligrosas y elaborar un esquema de cálculo con posibilidades de estudios posteriores mediante los análisis por el método de elementos finitos. Estos valores son propios de un equipo pero no difieren en mucho de sus homólogos, pues una de las características principales que los define es la dispersión de la altura en el micro-relieve del suelo.

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.

Los resultados obtenidos bajo cargas estáticas se afectan por los coeficientes dinámicos y se determinan al final las tensiones y deformaciones resultantes de la aplicación de las cargas dinámicas (Goitizolo, 2007).

En las condiciones de explotación de las cosechadoras de caña, según Pérez Guerrero (1997), inciden las microirregularidades del camellón, de las calles de los campos de caña y de las variaciones del área de corte a lo largo del surco, lo que conduce a la conclusión, de que el microrrelieve representa un proceso estocástico estacionario y ergódico, después de eliminar las frecuencias de bajo interés del sistema dinámico, la misma constituye una de las fuentes principales de cargas dinámicas sobre la máquina, lo que provoca sobre su estructura y órganos de trabajo oscilaciones verticales y transversales que generan esfuerzos adicionales sobre dichos órganos de trabajo.

Según informe de Colectivo de autores (1990), los regímenes de transporte se fundamentaron en la necesidad de realizar el desplazamiento máximo posible, según las valoraciones del conductor, desde el lugar de parqueo de la cosechadora hasta su lugar de trabajo.

Los regímenes de transporte se realizaron en las mismas regiones de los de cosecha e incluían el desplazamiento de la máquina por caminos con diferentes magnitudes de dispersión de las alturas de las microirregularidades del suelo.

De las cargas extremas que fueron objeto de análisis en el de banco de prueba, se tomaron para el estudio las cargas verticales por ser estas las de mayor incidencia en el cortacogollo.

Según Estrada (1999), en general, los regímenes extremos de acuerdo con el tiempo general de explotación de la máquina ocupan un volumen pequeño, pero durante su ocurrencia aparecen grandes cargas, por ello se tiene en cuenta para los cálculos de resistencia no considerándose los mismos para los cálculos de recurso o durabilidad.

Según informe de Colectivo de autores (1990), los regímenes extremos se realizaron en un polígono de prueba, donde se colocaron obstáculos de forma sinusoidal y la velocidad de traslación de la máquina en la misma tuvo en cuenta que se mantuviera el estado mínimo de confort del operador, según la Norma correspondiente (Norma Cubana 19-01-05, 1980) y con la condición de que no se rompiera el eslabón débil de la máquina que en este caso, resultó ser la viga de giro del transportador de descarga.

Para la obtención de los datos fueron utilizados elementos dinamométricos compuestos por unidades de ensamblaje de la máquina y los sensores tensométricos colocados, los que registraban las deformaciones de los elementos de la estructura por las cargas aplicadas, extensómetros colocados directamente en el chasis de la cosechadora, con el fin de registrar las tensiones en la estructura metálica, además fueron utilizados acelerómetros, señalizadores de impulsos de las revoluciones y tacogeneradores.

El coeficiente dinámico de las cargas verticales se determina por la expresión:

$$K_{din}^{max} = \frac{Q_{max}}{Q_{est}} \quad (2.1)$$

$$Q_{max} = Q_{est} + Q_{din}^{max}$$

donde:

Q_{est} - valor estático de la carga.

Q_{din}^{max} - valor instantáneo máximo de la carga obtenido durante las pruebas con cargas extremas.

En su investigación, Estrada (1999), muestra en una tabla, (ver tabla 2.5) los resultados obtenidos, estos son mostrados a continuación por la aplicación que se hace de los mismos en este trabajo, centrando la atención en el coeficiente dinámico del cortacogollo.

Tabla 2.5. Coeficientes dinámicos de la cosechadora KTP-2M.

Posición del transportador de descarga	Centro de gravedad de la máquina	Centro de gravedad de la sección receptora	Cortacogollo	Centro de gravedad del transportador de descarga
A la derecha	1.3	1.2	2.11	2.02
Recto	1.8	1.2	2.2	2.75
A la izquierda	1.5	1.18	2.12	2.06

2.2.2.2. Determinación del tiempo que demora la cosechadora para sobrepasar un obstáculo

Con el objetivo de establecer el tiempo (s) de oscilación al producirse una caída del sistema direccional ocasionado por el relieve del camellón, simulado por un obstáculo, creado con ese fin en las pruebas de trabajo a la cosechadora KTP-23, usando la expresión dada por Pérez Guerrero (1997), se determina como sigue:

$$T = \frac{S}{v}, \quad (\text{s}) \quad (2.2)$$

$$T = \frac{0.61}{2.47} = 0.22, \quad (\text{s})$$

Donde:

$S=0,61$ m, (ver figura 2.10) es en este caso la longitud del obstáculo, colocado en el polígono de prueba simulando el terreno donde trabaja una máquina cosechadora de caña, y se determina según Estrada, (1999), por la siguiente expresión:

$$S = \frac{0.176 * \pi * V_{\max}}{W} \quad (2.3)$$

$$S = 0.61\text{m}$$

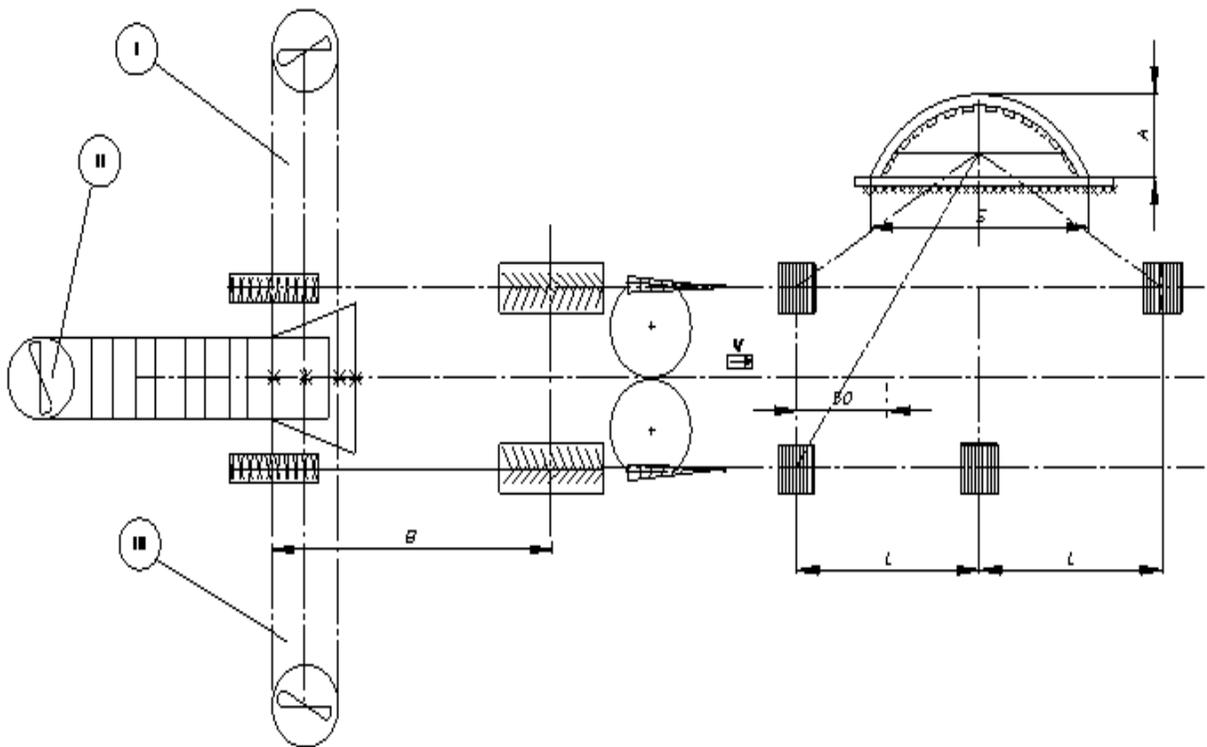


Figura 2.10. Esquema de distribución de obstáculos en el polígono de prueba, I representa el transportador girado a la izquierda, II hacia atrás y III hacia la derecha, (Colectivo de autores, 1990)

La distancia entre los obstáculos “L” se señala con la condición de que se disponen de las oscilaciones propias de la cosechadora según va superando esta

distancia, como regla $L = (2 \dots 3 \times B)$, B es la base de la cosechadora, para la KTP-23, $B = 3500$ mm, A representa la magnitud del valor máximo del obstáculo, para este caso se tomó $A = 150$ mm.

El valor de la velocidad (V) está dado a partir de las pruebas realizadas a la KTP-23 al sobrepasar las distancias L de los obstáculos en el polígono y la misma está relacionada con la dinámica que experimenta la máquina, la que selecciona el conductor, según su estado de confort o con el fin de cuidar el equipo, es decir, el operador resulta ser un elemento de autorregulación automática de la velocidad. Al medir las aceleraciones verticales registradas en el asiento del operador, las características de confort según la norma (Norma Cubana 19-01-05, 1980) se fijó el valor máximo de la velocidad con el transportador de descarga hacia la derecha en $2,47$ m/s valor tomado como referencia. La frecuencia propia de oscilaciones (ω) determinada está dada por el valor obtenido experimentalmente según va superando esta distancia (S) a partir de estudios realizados, donde se determina su valor en 2.23 s^{-1} , (Estrada, 1999).

Luego de conocer el tiempo de oscilación (0,22 segundos) al producirse una caída del sistema direccional ocasionado por el relieve del camellón o enfrentarse a un obstáculo o bache en condiciones de transporte, simulado por un obstáculo diseñado para tales efectos (figura 2.9) y el coeficiente dinámico del cortacogollo (2,2) (ver tabla 2.5), se pasa a efectuar el estudio dinámico lineal.

2.2.2.3. Análisis dinámico lineal

Para realizar un análisis dinámico lineal es necesario realizar previamente un estudio de frecuencia, para lo cual ya se cuenta con el modelo simplificado del mecanismo paralelogramo, (ver figura 2.11), a este modelo se le aplicaron restricciones de movimiento similares al del estudio estático, además de asignar los mismos materiales y el mismo número de elementos en el mallado aplicado en los cálculos anteriores, para lo cual se obtuvo la convergencia en el mallado a la cual se hizo referencia en el epígrafe 2.2.1.5.

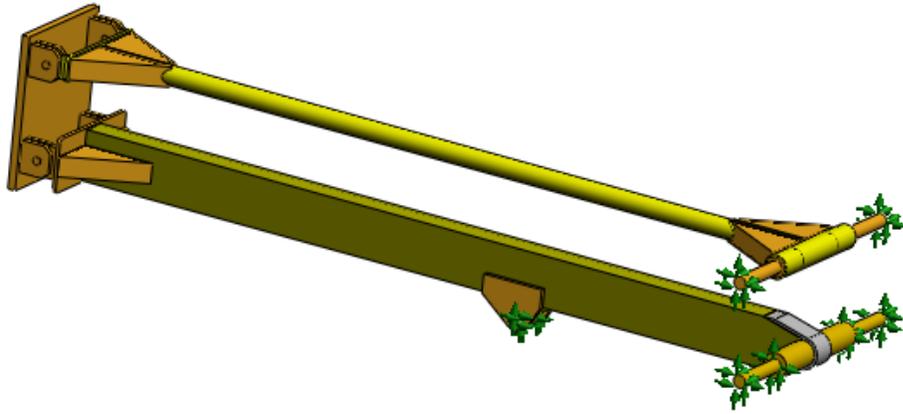


Figura 2.11. Modelo utilizado para el estudio de frecuencia

El resultado del análisis de frecuencia se muestra en la figura 2.12.

Nombre de estudio: Frecuencia

Nº de modo	Frecuencia(Rad/seg)	Frecuencia(Hertz)	Período(Segundos)
1	82.403	13.115	0.076249
2	154.91	24.655	0.040559
3	319.27	50.814	0.01968
4	362.86	57.751	0.017316
5	477.18	75.945	0.013167

Cerrar Guardar Ayuda

Figura 2.12. Resultado del análisis de frecuencia

Con los resultados del análisis de frecuencia se procede al cálculo dinámico lineal, para este caso se aplicó el material al modelo, se seleccionó acero para la construcción Ac3 como en los cálculos anteriores, las restricciones de movimiento se le aplicaron a los mismos componentes que fueron inmobilizados en los estudios anteriores.

Las cargas se aplicaron como se muestra en las figuras 2.12 a y 2.12 b, además de la fuerza normal con un valor de 880 kgf, calculada por la expresión (1), (ver epígrafe 2.2.1.2), esta se aplicó a la cara superior del subconjunto KTP-4G.16.050 C, la misma simula el comportamiento de las cargas que actúan en el mecanismo paralelogramo, se le aplicó una fuerza cortante de 1790 kgf en los vértices superior e inferior, que provoca un momento flector, con respecto a un eje trazado en el centro del mencionado subconjunto. Estas cargas fueron calculadas de la siguiente forma:

$$M_f = f \cdot l = 432,28 \text{kgf.m} \quad , \text{ donde:} \quad (2.5)$$

$$f = 880 \text{kgf}$$

$l = 0,49123 \text{m}$, brazo desde la cara sombreada (C) del subconjunto KTP-4G.16.050 C, figura 2.13 b hasta la aplicación de la carga en el eje de las X, (ver epígrafe 2.2.1.2).

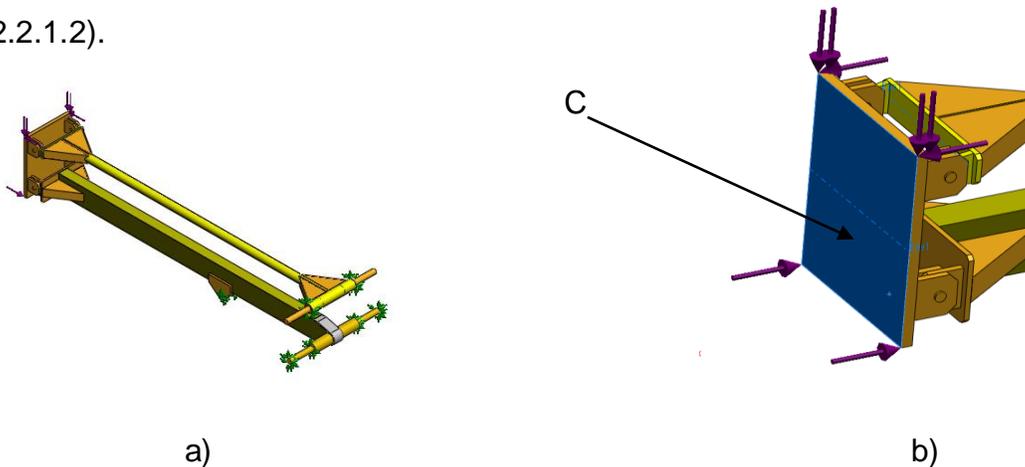


Figura 2.13 a) y b). Aplicación de restricciones y cargas al modelo

Para hallar la fuerza que se aplicó en los vértices superior e inferior se utilizó la siguiente fórmula:

$$F_1 = \frac{M_f}{\frac{h}{2}} = \frac{2M_f}{h} = 1790 \text{kgf} , \text{ donde:} \quad (2.6)$$

$h = 0,4825 \text{mm}$, altura del subconjunto KTP-4G.16.050 C.

Para conocer cómo se comporta el sistema se tuvieron en cuenta las frecuencias propias de la estructura y la curva de variación de la carga en el tiempo, (ver figura 2.14).

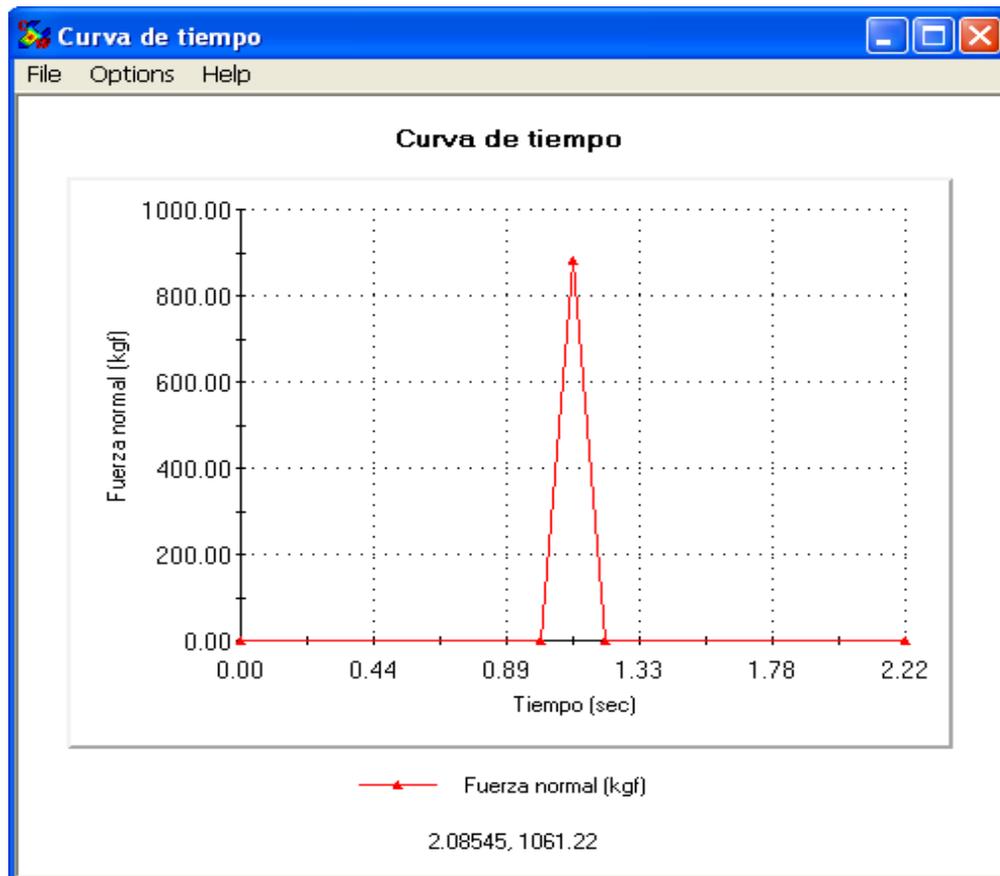


Figura 2.14. Curva de variación de carga en el tiempo

Para realizar los estudios dinámicos lineales es preciso tener en cuenta el coeficiente de amortiguamiento, para este caso se toma el del material, para el acero de construcción Ac3 este tiene un valor de 0,03. Luego de aplicar todas las restricciones y cargas se obtuvo el gráfico de tensiones que se muestra en la figura 2.15.

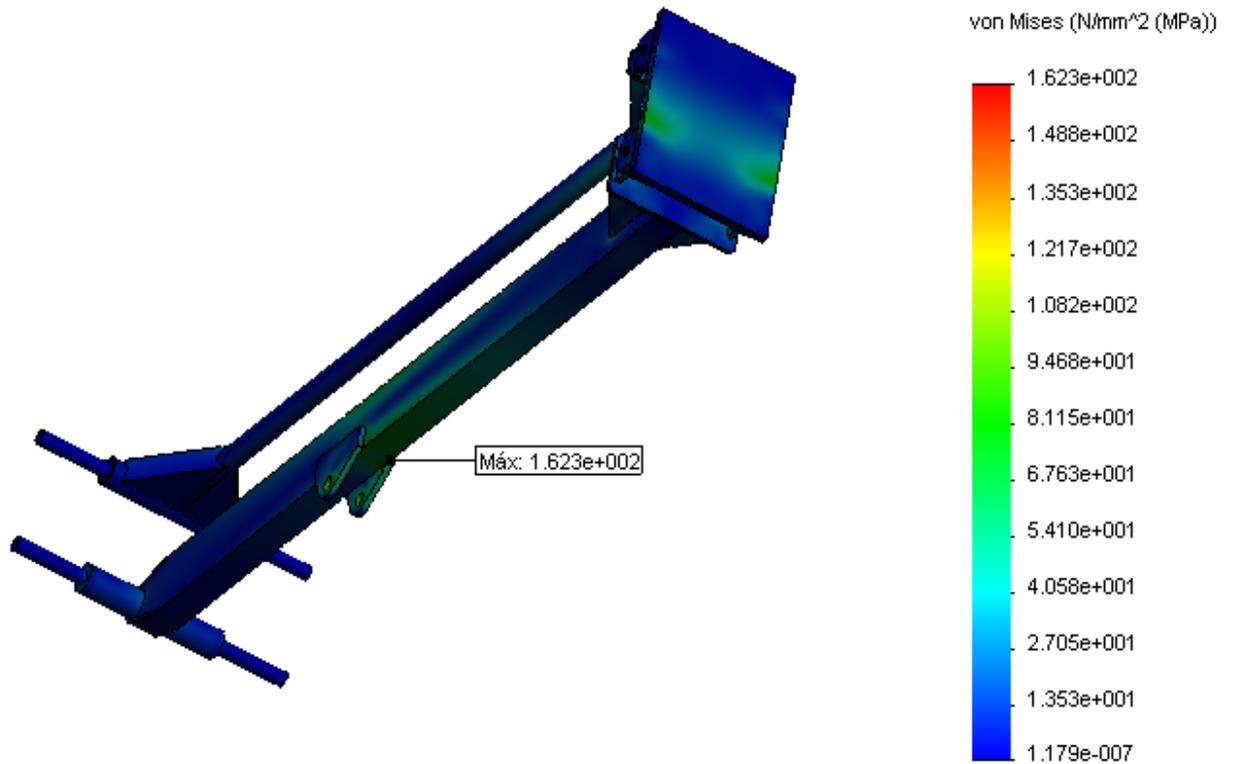


Figura 2.15. Gráfica de tensiones (tubo de sección rectangular)

En las opciones de resultados, se tomaron 1000 pasos con un incremento de 50 y se comenzó en uno. Para obtener los resultados se señalaron en el modelo dos puntos, el primero en la cara superior y centro del subconjunto KTP-4G.16.050 C, donde se registró el desplazamiento máximo, que se muestra en la figuras 2.16 y 2.17.

Nombre de modelo: Nueva variante
Nombre de estudio: dinámico 1
Tipo de resultado: Dinámica lineal Desplazamiento Desplazamientos1
Intervalo: 18 tiempo: 1.11975 Segundos
Escala de deformación: 10

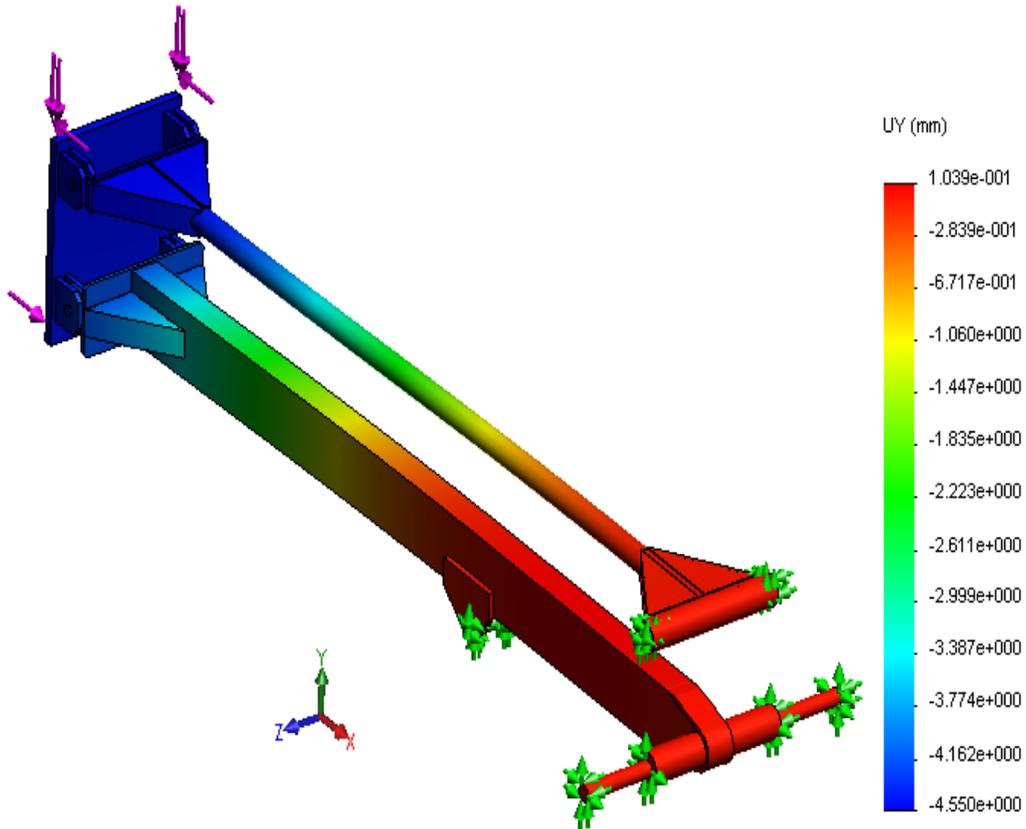


Figura 2.16. Gráfico de desplazamiento en el eje Y

Con el estudio dinámico lineal se obtuvo la gráfica (ver figura 2.17), que muestra la forma exacta y el momento en que ocurre el desplazamiento en el intervalo de tiempo de 1,11 a 1,22 segundos, que es el tiempo que tarda la cosechadora en rebasar el obstáculo, este desplazamiento alcanzó un valor de -4,55 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.

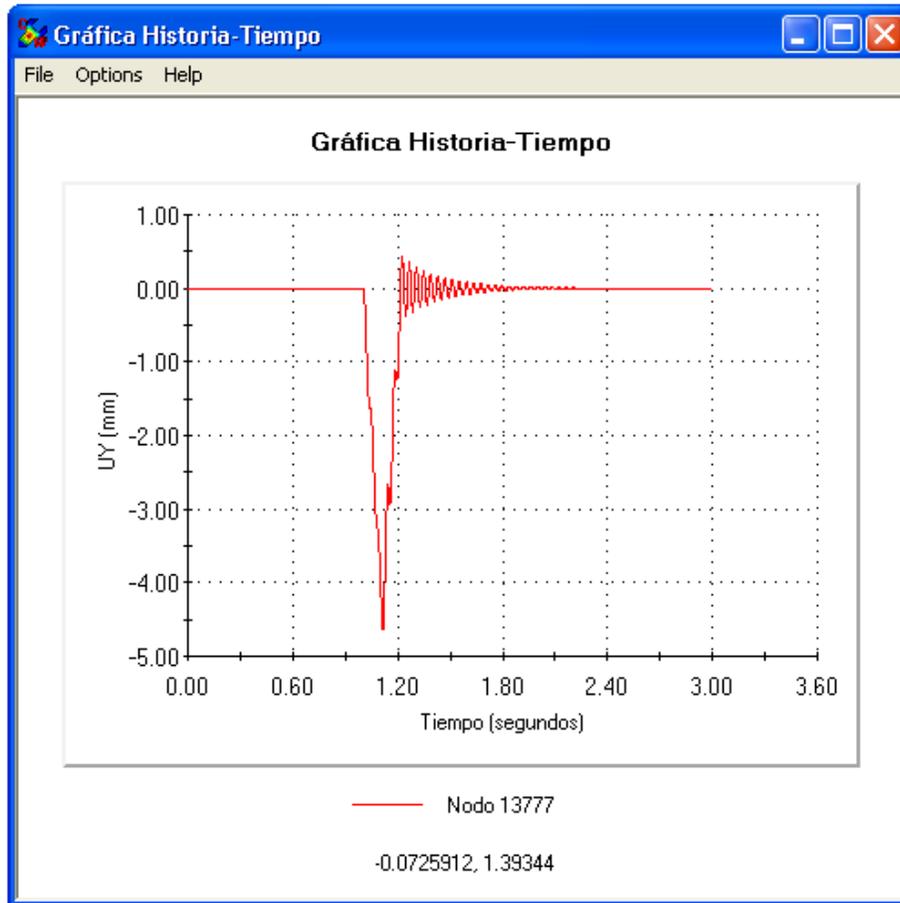


Figura 2.17. Gráfica que muestra el desplazamiento que ocurre en el mecanismo cortacogollo

El segundo punto, donde ocurrió la mayor concentración de tensión, está situado en el subconjunto KTP-4G.16.180 C, en su cara inferior a 9,4 mm de las piezas de fijación del cilindro hidráulico que garantiza la altura de corte del cogollo.

En este segundo punto, que muestra el lugar donde se concentra la mayor tensión, se pudo observar a través de una grafica, (ver figura 2.18) el comportamiento del mecanismo paralelogramo en el momento de caer en un bache, en este caso cuando sobrepasó el obstáculo del cual se hizo referencia anteriormente. Esta gráfica muestra que la máxima tensión en ese momento

alcanzó un valor de 162 N/mm^2 (MPa). Para el acero de construcción Ac3 el límite elástico tiene un valor de 220 N/mm^2 (MPa), esto indica que el coeficiente de seguridad del mecanismo paralelogramo en el momento de aplicarle la carga extrema alcanzó un valor de 1,36.

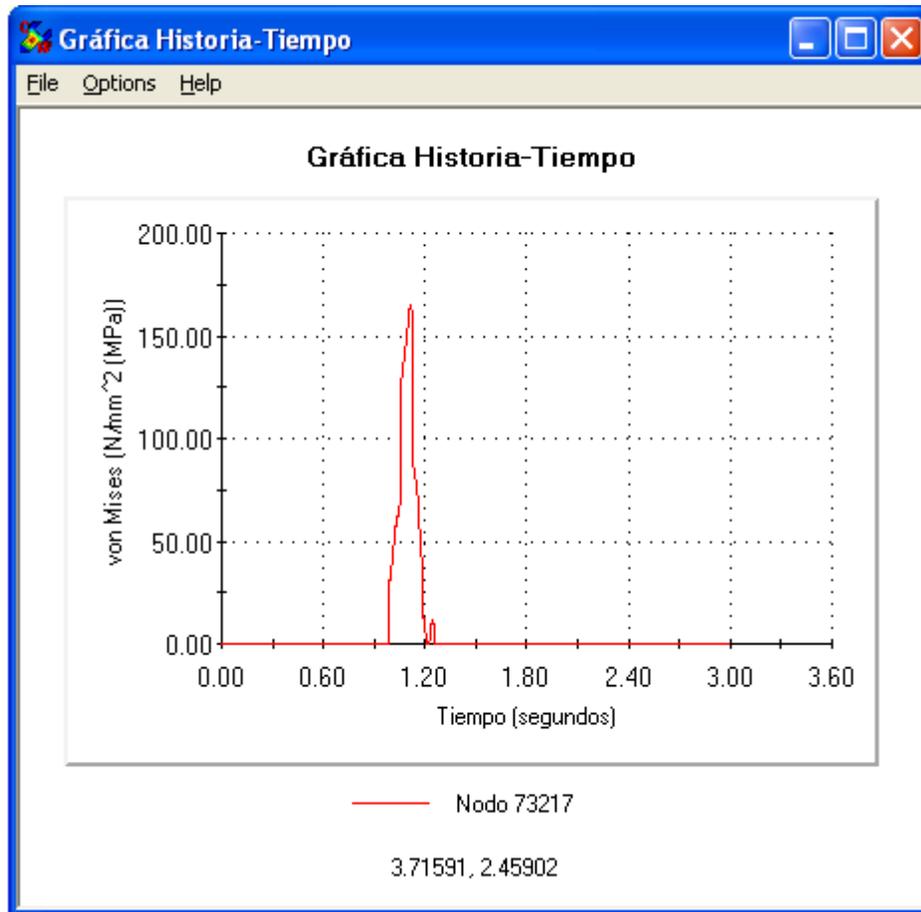


Figura 2.18. Gráfica que muestra el momento en que ocurre la concentración de la máxima tensión en el mecanismo paralelogramo del cortacogollo.

2.3. Análisis de los resultados

Al realizar el análisis de los mecanismos paralelogramos por el método de los elementos finitos se obtuvieron los siguientes resultados:

- a) El mecanismo paralelogramo en el cual se utilizó el tubo de diámetro 127 por ocho mm de espesor (primera variante), se deformó debido a que su coeficiente de seguridad era igual a uno, por lo que no cumplió con los requisitos de resistencia mecánica que exigen las condiciones de explotación de las cosechadoras cañeras.
- b) Que en el mecanismo paralelogramo donde se utilizó el tubo de sección rectangular con las dimensiones de 160x80x8 (segunda variante), al realizarle el cálculo con cargas pseudodinámicas presenta un coeficiente de seguridad de 1,47.
- c) Que al realizar el análisis dinámico lineal a la segunda variante, al ser sometida esta última a cargas extremas de explotación, simuladas por obstáculos diseñados para tales efectos, presentó un coeficiente de seguridad de 1,36, en el momento de rebasar dicho obstáculo y su desplazamiento máximo alcanzó los -4,55 mm, este desplazamiento no causa ningún efecto negativo en la cosechadora, debido a que el mecanismo cortacogollo se encuentra en su parte delantera y no causa interferencias con otras partes de la misma.

2.4. Análisis económico de la efectividad del uso del mecanismo cortacogollo

Este análisis se realizó basado en los costos y gastos en moneda nacional para el CAI "Cristino Naranjo", se analizaron 21 de las 25 máquinas que tenían el cortacogollo instalado, se tuvieron en cuenta los distintos elementos, tanto físicos como productivos, se evaluó el efecto de la disminución del volumen de cogollo en los eslabones de la cadena cosecha-transporte-industria, ver tabla 2.6 y tabla 2.7.

Tabla 2.6. Efecto económico en cosecha-transporte con el uso del cortacogollo, (Buzzis 1996)

Tipo de tiro de caña	Ahorro por reducción de viajes (MP)	Ahorro por disminución de parque(MP)	Subtotal (MP)
Ferrocarril	27,6	46,8	74,4
Carretas	29,9	80,8	110,7
Camiones ZIL 130	4,7	21,0	25,7

Tabla 2.7. Efecto económico en la industria, (Buzzis 1996)

En la industria	Miles de pesos(MP)
Por disminución de los días de molida	62,8
Por disminución de pérdidas en bagazo	31,1
Por incremento de la producción	151,4
Subtotal	245,3

Todo lo anterior aportó un beneficio al CAI de 456,1 MP, pero durante la cosecha y debido a la poca uniformidad de los tallos, el mecanismo provocó un nivel de pérdidas agrícolas (caña que queda en el cogollo) que osciló entre 0,1 y 0,5%. Aunque esa caña que queda unida al cogollo contiene poca azúcar, si se realiza una valoración en peso en toneladas métricas(TM), representan pérdidas de 1,5 miles de toneladas de caña, que constituye un monto de 21,5 MP.

La ganancia neta obtenida al finalizar la zafra (110 días), en función de los parámetros evaluados fue de alrededor de 404,8 MP.

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).

Al analizar los resultados obtenidos en las pruebas a las máquinas con cortacogollo se puede apreciar que en una hora de rotura de uno de estos mecanismos, el CAI deja de obtener un beneficio de 21,9 pesos.

Según listado de precios (MARCEGAGLIA 2008), el precio de los perfiles usados en el mecanismo paralelogramo del cortacogollo desfibrador no difieren notablemente. El tubo deformado de diámetro 127mm x 8mm de espesor tiene un precio de 90,67 CUC, mientras que el precio del tubo de sección rectangular con dimensiones de 160 x 80 x 8 es de 84,54 CUC; por lo que hay que señalar que se ahorrarían 6,13 CUC por la sustitución del primero por el segundo. Teniendo en cuenta que en el plan de fabricación de combinadas cañeras CCA-5000 de la Empresa "60 Aniversario de la Revolución de Octubre", desde el 2011 hasta el 2015, es de 500 cosechadoras, se ahorrarían 3,065.00 CUC al país, además de contar cada una de estas máquinas fabricadas con un cortacogollo de alta fiabilidad técnica.

En este análisis no se valoraron los gastos en reparación del mecanismo paralelogramo debido a que las mismas no se efectuaron, por ser este un único prototipo que al ser sometido a las pruebas de explotación no cumplió con los requisitos de resistencia mecánica.

2.5. Conclusiones del capítulo

Al finalizar este capítulo se llega a las siguientes conclusiones:

1. La deformación ocurrida en la estructura portante del cortacogollo con tubo circular de diámetro 127 milímetros y espesor ocho se debió a su bajo coeficiente de seguridad, el mismo era igual a uno.
2. El cálculo estático con cargas pseudodinámicas realizado a la nueva variante de mecanismo paralelogramo, (tubo rectangular) con dimensiones 160 x 80 x 8, arrojó como resultado que el mismo soporta dichas cargas y cuenta con un coeficiente de seguridad de 1,47. (No se tuvieron en cuenta las frecuencias propias del mecanismo y el amortiguamiento del material).

3. Con el estudio dinámico lineal se pudieron localizar los puntos de la estructura, donde ocurre el desplazamiento máximo y la máxima concentración de tensión, en el momento de aplicar una carga extrema, simulada por un obstáculo, se tuvieron en cuenta las frecuencias propias de la estructura, el amortiguamiento del material y la curva de variación de la carga en el tiempo.
4. En el punto de mayor concentración de tensión con carga extrema en el conjunto paralelogramo, existe un coeficiente de seguridad de 1,36.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

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

1. La deformación ocurrida en la estructura portante del cortacogollo con tubo circular de diámetro 127 milímetros y espesor ocho se debió a su bajo coeficiente de seguridad, el mismo era igual a uno.
2. El cálculo estático con cargas pseudodinámicas realizado a la nueva variante de mecanismo paralelogramo, con tubo rectangular y dimensiones 160 x 80 x 8 milímetros, arrojó como resultado que el mismo soporta dichas cargas y cuenta con un coeficiente de seguridad de 1,47. (No se tuvieron en cuenta las frecuencias propias del mecanismo y el amortiguamiento del material).
3. Que en el punto de mayor concentración de tensión con carga extrema, en el conjunto paralelogramo existe un coeficiente de seguridad de 1,36.
4. Con el estudio dinámico lineal se pudieron localizar los puntos de la estructura donde ocurre el desplazamiento máximo, que alcanzó los -4,58 mm y la máxima concentración de tensión en el momento de aplicar una carga extrema simulada por un obstáculo, se tuvieron en cuenta las frecuencias propias de la estructura, el amortiguamiento del material y la curva de variación de la carga en el tiempo.

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. Estudiar el incremento de la producción de azúcar en la industria debido a la disminución del contenido de cogollo en la caña por el uso del mecanismo cortacogollo.

3. Utilizar de forma sistemática los métodos de cálculo por elementos finitos en el diseño de máquinas agrícolas.
4. Realizar una optimización de los perfiles usados en la estructura portante del mecanismo cortacogollo.
5. Realizar pruebas extensométricas al nuevo modelo de cosechadora cubana CCA-5000.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Análisis de elementos finitos. Actualizada: el 27 sep 2010. http://es.wikipedia.org/wiki/Análisis_de_elementos_finitos. [Consulta 10 de octubre 2010].
2. Ayuda de SolidWorks Simulation.2010 Documentación del software.
3. BRICEÑO, C. 1999. La Biomasa de la Caña de Azúcar Como Fuente de Energía Primaria. Carta Trimestral 1999, n.-3. Cenicaña, Colombia.
4. Borrego Portela, J. R. Aplicación del método de los elementos finitos y la mecánica de fracturas al diseño del rotor eólico de aerogeneradores de pequeña potencia. 7mo Congreso iberoamericano de ingeniería mecánica. México DF., 12 al 14 de octubre de 2005.
5. 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 h.
6. Calzadilla D, H. 2005. Optimización del bastidor principal de un alisador agrícola para el cultivo del arroz.84 h. Tesis (en opción al título académico de master en CAD-CAM). Universidad de Holguín.
7. COCK, J. H. 1995. Manejo de la caña para cosecha en estado verde. En: CENICAÑA. El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia, Cali, CENICAÑA, P.23-27.
8. Colectivo de autores.1990. Evaluación técnico explotativa y de fiabilidad de las combinadas KTP -23 y KTP-2 y determinación de las cargas de exploración y aligeramiento de la KTP-23, durante la zafra 1989-1990 en la provincia de Holguín. Págs. 64.
9. COSMOSWorks 2010 User’s Guide. 2010 Documentación del software.
10. CROVETTO, C. 1992. Rastrojos Sobre el Suelo Una Introducción a la Cero. Labranza. Editorial Universitaria. Chile.

11. Diname. I-1155. 1982. Informe sobre la evaluación del trabajo de los aparatos cortacogollo de las cosechadoras de caña. La Habana. 12 h.
12. Dirección de Mecanización MINAZ. 2009. Tarea Técnica. Requisitos que debe cumplir la Cosechadora de Caña de Azúcar de Nuevo Tipo. 4 h. Ciudad de la Habana.
13. Estrada Cingualbres, R. 1999 "Estudio de la capacidad de carga del bastidor principal de la cosechadora KTP". Holguín. 100 h. Tesis. (presentada para optar por el Grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas).
14. Fernández, W. 2009. Cortacogollo una experiencia a generalizar. Revista METANICA 2009 (CU). Año XVI. No 1/09. ISSN:1026-048X
15. García Tain, Yelene y otros. 2007. Balance energético y económico de la recogida y transportación de los Residuos Agrícolas Cañeros (RAC) para su utilización como combustible. Disponible en: <http://169.254.190.1:10000/api/fetch?index=Default&docType=application%2Fmsword&docId=file%3A%2F%2Flocalhost%2FD%3A%2FDocumentos%2FEngeneering%2FMetanica%2F2007%2Fagromec%2FP57.doc> . [Consulta: 6 de noviembre 2009].
16. Goitzolo, Rafael; Leodelcys Villa, Emilio Zayas, Pablo M. Hernández, Juan Gabriel Noa y Hernán Hernández. 2007. Modificación del Alto Despeje del Tractor YUMZ 6M. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. Vol. 16. No.4. ISSN 2071-0054. Disponible en: http://www.isch.edu.cu/rcta/rcta_4_2007/Sumario%20rcta_4-2007.htm. [Consulta: 18 de marzo del 2010]
17. Hurtado Jorge, E. 2010. Introducción al análisis estructural por elementos finitos. Universidad Nacional de Colombia. 169 Pág. 2010 Disponible en: <http://ojeandolibros.blogspot.com/2010/08/introduccion-al-analisis-estructural>. [Consulta 12 de octubre 2010].
18. Lebeque Simón, F. 2000. Informe de pruebas de la cosechadora C-4000. Zafra 1999-2000. Holguín, Cuba.

19. Manual de explotación combinada cañera CASE A 7000 y A7700 pdf. 2006.
Disponible en:
<http://www.caseih.com/products/products.asp?Reg=LA&RL=SPLA>.
[Consulta: 20 de octubre 2010].
20. MARCEGAGLIA 2008. Catálogo de precios de perfiles tubulares. Disponible en: www.incafe2000.com/index1.php?entrada..... [Consulta 23 de septiembre 2011].
21. Martínez, A. Análisis por elementos finitos de cargas de impacto. Estudio de caso de batería de hojas de muelle de remolque agrícola. Congreso de maquinaria y mecanización agrícola AGROMEC 2009. La habana, Cuba 2009.
22. Max González, J. Archivo personal.
23. Método de elementos finitos. 2010 Disponible en:
http://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9todo_de_los_elementos_finitos_en_la_mec%C3%A1nica_estructural. [Consulta: 23 de septiembre 2010].
24. MOLINA, E. 1998. Estudio de Caso Sobre el Manejo Convencional y Agro ecológico del Cultivo De la Caña de Azúcar en el Valle del Cauca, Colombia.
25. Moreno, F. 1983. Análisis probabilístico de la eficiencia del cortacogollo a partir de datos de pruebas realizadas a este conjunto. Informe técnico. CEDEMA. Holguín. 10 h.
26. Navarro Ojeda, M. 2010. Conferencia 10. Elaboración del reporte de investigación, normas para la redacción y presentación de tesis. Universidad "Oscar Lucero Moya". Holguín.
27. Navarro Martínez, E. Asociación Española de Agricultura de Conservación-Suelos Vivos. Disponible en: www.aeac-sv.org [Consultado: 2 de septiembre 2008]
28. Norma Cubana 19-01-05, "Sistema de normas de protección e higiene del trabajo. Vibración general. Requisitos generales higiénicos-sanitarios". 1980.
29. Ricardo, C. 2008. El aparato cortacogollo y su impacto en la cosecha de la caña. JIM 2008 ISTH-CEDEMA. Disponible en:

<http://169.254.190.1:10000/api/fetch?index=Default&docType=application%2Fpdf&docId=file%3A%2F%2Flocalhost%2FD%3A%2FDocumentos%2FEngineering%2FMetanica%2FJIM2008%2FJIM%2520-%252038-2008%2520-%2520Corta%2520cogollos%2520-%2520Ricardo%2520A%2520-%2520CEDEMA.pdf>. [Consulta: 9 de mayo 2010].

30. Rodríguez C., S.2006. El potencial de desarrollo de la agricultura cañera cubana sobre bases sustentables. Adobe Acrobat Document, 16 p.
31. Rodríguez, P.2009. Tecnología para el manejo sostenible de los residuos de la cosecha mecanizada en verde de la caña de azúcar en el municipio Rómulo Gallegos, estado Cojedes. Venezuela. 87 h. Tesis (en opción al título académico de master en maquinaria agrícola).
32. SolidWorks Office Premium 2010. Guía del usuario en línea de SolidWoks 2010-SPD.
33. Pérez Pupo, J. 2006. “Análisis teórico experimental del accionamiento hidráulico del aparato trozador de la cosechadora de caña”. Holguín. 115 h. Tesis (presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas).
34. Pérez Pupo, J. 1996. Cálculo y modelación de sistemas hidráulicos. Cuba. 63 h. Tesis (en opción al título académico de master en maquinaria agrícola).
35. Pérez Guerrero, J.N. 1997. Fundamentos científicos, técnicos y metodológicos para la determinación de los parámetros del mecanismo de corte inferior de la máquina cosechadora caña. Tesis presentada en opción al grado científico de doctor en ciencias técnicas, págs. 111.
36. Ponce, F. 2008. Influencia de las tecnologías de labranza-siembra sobre los costos energéticos y de explotación de la técnica empleada y la contaminación del aire en el cultivo del frijol. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. Vol. 17, No. 4, 2008. Disponible en:

http://www.isch.edu.cu/rcta/rcta_4_2008/body/rcta03408.htm. ISSN 2071-0054. [Consulta: 10 de enero 2010].

37. Frish, S., Timoreva A. 1967. Curso de física general. Tomo1. Editorial MIR. 510 p.
38. Villegas, F. 1999. Manejo de los Residuos de la Cosecha de la Caña de Azúcar en Verde. Carta Trimestral 1999, n. 4. Cenicaña, Colombia.
39. Zayas, B. 1997. Informe técnico. Estudio, diseño y pruebas de un mecanismo cortacogollo de caña de producción nacional. 40 h. Holguín.

ANEXO

ANEXO



Dirección de Mecanización

Ciudad de la Habana, 12 de Agosto del 2009

“Año del 50 Aniversario del Triunfo de la Revolución”

Tarea Técnica

Requisitos que debe cumplir la Cosechadora de Caña de Azúcar de Nuevo Tipo

❖ **Requisitos Agrotécnicos**

1. Cosechar con eficiencia caña verde del año y ciclo largo, con edades de hasta 24 meses, en condiciones erectas, encamadas y enredadas.
2. Cosechar un surco en cada pase de trabajo.
3. Cosechar en un rango de rendimiento agrícola desde 35 hasta 180 t/ha
4. El rango de rendimiento agrícola donde debe cosechar con máxima eficiencia estará comprendido entre 50 a 130 t /ha.
5. La cosechadora debe ser capaz de trabajar con eficiencia en campos con pendientes de hasta 15 grados en siembras normales y mayores en siembras en contorno y/o curva de nivel.
6. Debe ser capaz de cortar y recolectar la caña con nivel del suelo desde cero hasta surco de 10 cm de altura con el mínimo de pérdidas de cosecha.

7. La cosecha la realizará en campos con distancias entre surcos de 150 a 160 cm.
8. La altura de corte que garantizará la cosechadora debe encontrarse entre -2 a 0 cm. con respecto al nivel superior o cresta del surco.
9. Las pérdidas totales en cosecha debe encontrarse en un rango máximo permisible del 3% al 5%.
10. La cantidad de materias extrañas en el transporte de tipo vegetal (paja cogollos, etc.) permisibles no será mayor del 5 %, no se admite presencia de tierra.

❖ **Requisitos de Explotación**

1. Capacidad de cosecha en caña verde por hora de tiempo de trabajo principal 50 t/h.
2. Consumo específico de combustible: no mayor de 1,20 litros/ tonelada de caña cosechada en rendimientos agrícolas de 50 a 130 t /ha (de 60,0 a 150,0 mil @/caballería).
3. Índice de consumo máximo de lubricante total en masa: 0.80% del consumo de combustible.
4. Duración del mantenimiento técnico de turno no mayor de 1,0 hora.
5. Coeficiente de seguridad tecnológica: mayor de 0,98.
6. Coeficiente de seguridad técnica: mayor de 0,95.
7. Tiempo de explotación económica no menos de: 7 años.

❖ **Requisitos Técnicos**

1. La cosechadora debe de poseer un corta cogollo desmenuzador regulable en altura en un rango de uno a cuatro metros.
2. Desde la cabina del operador se debe controlar y realizar la regulación de la altura del corte. Es interés de lograr un sistema automático de copiado del relieve del suelo para mantener constante la regulación realizada de este parámetro.

3. La máquina debe estar dotada de espirales dobles separadores de la caña del surco contiguo.
4. Debe poseer cuchillas de corte laterales con desplazamiento de arriba abajo y viceversa con accionamiento opcional desde la cabina.
5. Hidraulizar al máximo los mecanismos agrícolas de la cosechadora con hidromotores y circuitos que permitan la reversibilidad, con mangueras que resistan dos veces o más las presiones de trabajo normales de los sistemas óleo hidráulicos. Los sistemas hidráulicos que se utilicen en la máquina deben tener elementos que estén estandarizados u homologados con los diferentes productores que comercializan en el mundo agregados y componentes óleos hidráulicos.
6. La cosechadora estará equipada con sistemas de protección y señalización en la cabina con parada automática del motor cuando lo requiera para los casos de:
 - Baja presión de lubricación del motor principal.
 - Alta temperatura del agua de refrigeración del motor principal.
 - Bajo nivel del agua de refrigeración del motor en el radiador.
 - Indicación de obstrucción o colmataje del filtro de depuración del aire de admisión del motor principal.
 - Indicación de presencia de agua en el filtro primario o de depuración basta del combustible del motor principal.
 - Indicación de obstrucción o colmataje de los filtros de los sistemas hidráulicos de la cosechadora.
 - Alta temperatura del lubricante de los sistemas hidráulicos.
 - Bajo nivel en los sistemas hidráulicos producto de una rotura que ocasione altas pérdidas de lubricantes.
7. El motor principal que se instale en esta cosechadora debe tener una reserva de potencia para absorber las sobrecargas, con respecto a la necesidad de energía que demanda la máquina en régimen de trabajo normal, de un 15 % a un 20 % y cumplir las Normas EURO 2 de contaminación ambiental

8. El motor principal, además de contar con sus sistemas de señalización y de parada de emergencia debe estar provisto de:
 - Purificación del aire de admisión de tipo seco, con elemento o cartucho de seguridad y prefiltro del tipo rotatorio de ciclón del tipo TURBO II para evitar la entrada de partículas vegetales en suspensión del ambiente de trabajo de la cosechadora.
 - Filtro primario o de depuración basta del combustible que tenga tres etapas de purificación que elimine y decante el agua presente en el combustible, así como, realice un filtrado primario de partículas sólidas con grado de filtraje absoluto de no más de 30 micras.
9. La capacidad del tanque de combustible debe permitir el trabajo ininterrumpido de 10 horas con carga normal con un 5 a 10 % de reserva.
10. La máquina debe poseer un solo transportador de descarga, con piso rasurado longitudinalmente que permita la eliminación de tierra, y el mismo debe girar en su base 170 grados para cosechar surcos contiguos con una altura de la descarga al transporte de cuatro metros como mínimo. El transportador contará con un deflector en su descarga que permita la distribución uniforme de los trozos de caña en el transporte.
11. El sistema de limpieza será neumático, de manera que garantice los requisitos agrotécnicos planteados, el sistema debe tener un método de regulación desde la cabina del operador que permita mantener el nivel de limpieza y pérdidas requeridas de acuerdo a las condiciones, variedades y rendimientos agrícolas donde se coseche. Además, las impurezas que se depositarán en el campo, debe tener un deflector que permita dirigir a voluntad desde la cabina el chorro de materias extrañas hacia el área cosechada.
12. La longitud del trozo de caña debe estar en el rango de 200 a 250 mm con un 85 % de los trozos con corte limpio como mínimo y una desviación del trozado no mayor del 20 % de la longitud inferior. El troceador debe contar

además con un sistema de fijación de las cuchillas que permita un cambio rápido de las mismas.

13. La traslación de la cosechadora será hidrostática permitiendo el desplazamiento de la cosechadora en una gama continua de velocidades de 0 a 25 km por hora hacia delante y hacia atrás, con la posibilidad adicional de velocidad de para el trabajo de 0 a 10 Km, por hora hacia delante y hacia atrás.
14. El radio de giro máximo de la cosechadora debe ser mayor de seis metros.
15. Los puntos de lubricación deben ser de fácil acceso.
16. Debe poseer puntos de comprobación de presiones de los circuitos hidráulicos de fácil acceso y sin riesgo de accidente durante las mediciones.
17. El sistema de alumbrado para trabajo nocturno debe garantizar la correcta visibilidad en la cosecha con un máximo de seguridad.
18. La máquina debe cumplir las Normas Internacionales de Seguridad y Protección establecidas para este tipo de equipo.
19. La cabina del operador debe contar con las siguientes condiciones y requisitos:
 - La misma debe poseer buena visibilidad, hermeticidad y aislada de ruidos y vibraciones con niveles no mayores de 80 decibeles y 0,15-0,20 mm/seg², respectivamente, con cristales de seguridad tipo triples o dúplex.
 - Los controles de la cosechadora deben ser de fácil manipulación y que no existan cruzamiento de manos durante la operación.
 - La misma debe contar con aire acondicionado.
 - El asiento debe ser cómodo regulable para el peso y estatura del operador así como, el timón será abatible para garantizar la comodidad de su manipulación.
 - Dentro de la cabina existirá botiquín de primeros auxilios, caja para guardar herramientas, termo para el agua del operador y extintor.

➤ La cabina debe contar con cierre por el exterior de las puertas, así como, con escalera cómoda para ascender y descender de la cosechadora con barandas seguras y escalones antiresbalantes.

20.El peso de la cosechadora no excederá de 12 a 14 toneladas, y la misma ejercerá sobre el suelo una presión específica no mayor de 75 a 85 Kpa con los neumáticos, los cuales deben ser de alta flotabilidad.

21.Para la combinada se tendrán en cuenta el empleo de esteras o semiesteras de goma que garanticen una presión específica sobre el suelo que permita el trabajo en condiciones de alta humedad mayor al 60 %.

Dirección de Mecanización

MINAZ