

**MINISTERIO DE EDUCACION SUPERIOR
UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN
“OSCAR LUCERO MOYA”
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA**

TRABAJO DE DIPLOMA

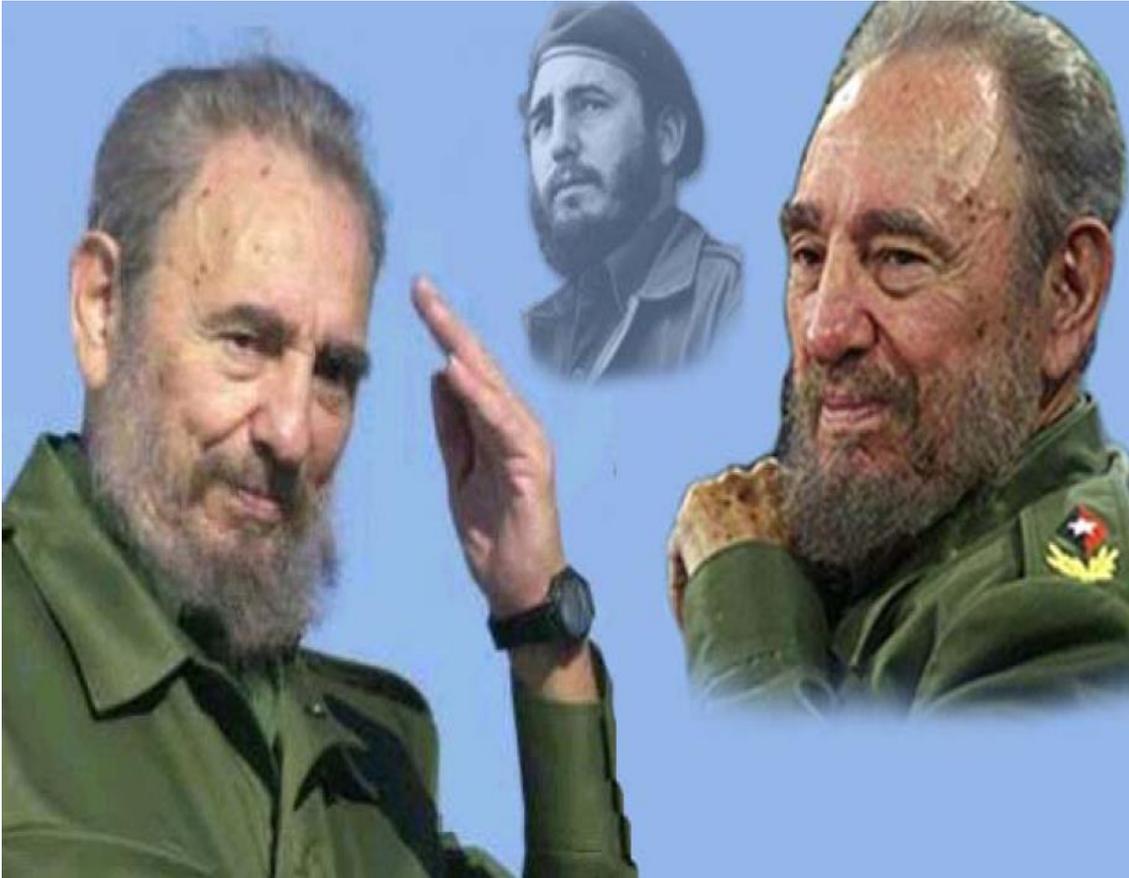
TÍTULO: Proposición Técnica de Diseño de una Sección Receptora para cortar dos surcos, destinada a la cosechadora de caña KTP-2M.

AUTOR: Leosmani Sarmiento Concepción.

TUTOR: DrC. Ing. Vladimir Álvarez Sánchez. PT

**CRD
HOLGUÍN, 2015**

PENSAMIENTO



“[...] Es uno de nuestros deberes ir descubriendo constantemente en qué aspectos podemos fortalecer y perfeccionar lo que estamos haciendo, para lograr un incremento constante en la eficiencia de la gestión económica de las empresas y de la economía en su conjunto [...]”

Fidel Castro Ruz

DEDICATORIA

Dedico todo mi esfuerzo durante estos 5 años, de tantas cosas lindas y de otras no tanto:

A mi madre, que es esa pequeña personita, que siempre ha estado ahí para mí, haciendo el papel de madre y padre, con sus regaños y preocupación, cuando salía, pero siempre ahí.

A mi hermanita querida, que ha sido el motor impulsor de todo lo que me he propuesto y logrado en la vida, es esa luz al final del camino, que me ilumina para que siga adelante, superando todas las adversidades y tropiezos que hay en el camino a la realización.

A mis abuelas Nersa y Mamina y a mi tío Renecito, que aunque ya no están conmigo, sé que estarían muy orgullosos de todo lo que he logrado.

A mi novia Lily, que desde que la conocí, siempre me ha apoyado con su amor y cariño, en todo lo que he hecho y ha sido una parte, muy fundamental, en estos últimos años de la carrera.

A mi abuelo Leonel, por apoyarme siempre en todo lo que hago y por darme esos buenos consejos de padre que me da siempre, al igual que mi abuelo René.

A mis tías (Naida, Noris, Nilda, Blanca, Feli y Miri) y mis tíos (Ocli, Amaury, Manolo, Melchor, Betico, Pupi y Osmani, que siempre ha sido como un padre para mí).

A mis primas (Leti, Katy, Neilín, Yuyi, Norita y Yari), y mis primos (Rose, Alber, Keni y Frank).

A María que más que suegra, ha sido como mi madre y siempre me apoyado en todo lo que me he propuesto.

A Daniel, Alex y Blanca por su apoyo, también a mi papá y mi hermanita Nely y a todos mis amigos, en fin a todas esas personas que han formado parte de mi vida y contribuyeron a mi realización como profesional de esta Revolución.

A TODOS LES DEDICO MI TRIUNFO, DE TODO CORAZÓN

EL AUTOR

AGRADECIMIENTOS

Agradezco todo el apoyo que me han dado:

Vladimir, que además de tutor y profesor, lo considero un amigo, por toda su dedicación y ganas de enseñar que siempre lo caracteriza.

Los profesores de la Facultad, en especial a Yosvani Morales, que aunque fue mi oponente, me ayudó mucho en la etapa final, con nuevas ideas para darle mayor valor al trabajo.

Los trabajadores de la fábrica KTP, por su ayuda incondicional en todo momento.

Los trabajadores del Central Loynaz Echavarría, del municipio Cueto, por contarme sus experiencias, en el uso de los diferentes modelos de cosechadoras, que se han utilizado en el país.

A TODOS, MUCHAS GRACIAS.

RESUMEN

El presente trabajo investigativo fundamenta una Proposición Técnica, para el diseño de una Sección Receptora, capaz de cortar dos surcos de caña simultáneamente, destinada a la Cosechadora KTP-2M, con el objetivo de cosechar mecanizadamente los campos plantados con doble hilera. Esto permite resolver el problema del incremento de los rendimientos cañeros (Lineamiento 209)¹ y la disminución de la compactación, que ejerce la maquinaria sobre el terreno, donde se desarrolla el sistema radicular de la plantación.

Inicialmente se hace una pequeña referencia a las primeras cosechadoras de caña, que se utilizaron en nuestro país y la evolución que han mostrado las mismas, así como los retos de la mecanización en el siglo XXI. En el Capítulo II se expone la Proposición Técnica de Rediseño, la cual supone, que la máquina deberá cosechar un frente de corte, con un ancho máximo de 1.5 m, que es lo que abarcan dos surcos, plantados en el marco de (0.80 - 1.40) m. Además, se trabajará sobre el concepto de: diseñar un mecanismo de corte base con discos de KTP-1 con diámetro de 990 mm.

¹El Lineamiento 209 plantea que: *“La agroindustria azucarera tendrá como objetivo primario incrementar de forma sostenida la producción de caña. En su desarrollo deberá perfeccionar la relación entre el central azucarero y sus productores cañeros. Asimismo, diversificar sus producciones, teniendo en cuenta las condiciones del mercado internacional, logrando la explotación acertada de los centrales y plantas de derivados” (Véase PCC, 2011)*

SUMMARY

The present investigating work is a fundamentation of a Technical Proposition for the design of a Receiving Section, for to cut two rows of sugar cane, destined to the Harvester KTP 2M, for to resolve of mechanically harvesting the fields planted with double row, this allows solving the problem of the increment of the sugar cane performances and the decrease of soil compression, where are developing of plantation system radicular.

In the beginning, a small reference is made to the first sugar cane croppers that were used in our country and the evolution that they have showing the same ones, as well as the challenges of the mechanization in the century XXI. In the chapter II the Technical Proposition of Redesign is exposed, which supposes that the machine will harvest a court front, with a maximum width of 1.5 m that is what they embrace two furrows, planted in the mark of (0.80 - 1.40) m. Also, one will work on concept: to design a court mechanism bases with disks of KTP-1 with diameter of 990 mm.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES. RETOS ACTUALES DE LA MECANIZACIÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR DURANTE EL SIGLO XXI.....

1.1 La Cosecha mecanizada de la caña de azúcar.....	16
1.1.1 Estructura y funcionamiento de las cosechadoras de caña.....	19
1.1.2 La sección receptora.....	20
1.2 Modelos de máquinas cosechadoras de caña de azúcar.....	21
1.2.1 Las máquinas cosechadoras de caña en el mundo.....	21
1.2.2. Análisis de Patentes para la selección de la variante a utilizar.....	22
1.2.3. Cosechadoras de caña más utilizadas a nivel mundial en la actualidad....	24
1.2.4. Las máquinas cosechadoras de caña en Cuba.....	25
1.3. Análisis de la evolución de los requerimientos funcionales y de las características técnicas.....	32
1.4. Ventajas y desventajas del proceso de mecanización de la cosecha de caña de azúcar.....	
1.5. Comparación de las Secciones Receptoras de los modelos de cosechadoras (CASE 7000, CASE A8800 con la KTP-1 y la KTP-2M).....	34
1.6. Retos de la Mecanización en el siglo XXI.....	
1.7. Metodologías de diseño mecánico.....	37
1.7.1 Metodología utilizada para el diseño	38

CAPÍTULO II. REQUERIMIENTOS FUNCIONALES, DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS BÁSICAS Y ESTUDIO DE VARIANTES.....

2.1 Determinación de los valores óptimos de las Características Técnicas Básicas	43
2.1.1 Estructura del tiempo.....	43
2.1.2 Productividad de la Cosechadora de Caña.....	45
2.2 Requerimientos funcionales.....	47
2.3 Características técnicas básicas.....	48
2.4 Determinación del límite al que tienden las características técnicas.....	49
2.5 Elaboración del diseño de la Proposición Técnica en tres dimensiones.....	49
2.6 Impactos que genera la propuesta	55
CONCLUSIONES.....	61
RECOMENDACIONES.....	62
BIBLIOGRAFÍA.....	63
ANEXOS.....	64

INTRODUCCIÓN

El hombre, desde el inicio de su historia, ha intentado facilitar su trabajo con la ayuda de herramientas y máquinas. Con el crecimiento de las fronteras agrícolas y la demanda de producción, hacen su aparición las máquinas agrícolas, lo cual abrió un campo infinito de desarrollo de las mismas, que luego se subdividen según su función: labranza o preparación del suelo, siembra, cultivo, cosecha, carga de productos y transporte, etc.

Posteriormente aparecen los estudios y carreras técnicas orientadas hacia el mercadeo y administración eficiente de la agricultura, que inducen al sistema productivo agropecuario mundial a ser competitivo y sacar el máximo provecho de las empresas agrícolas, lo que motiva a la industria productora de maquinaria y equipos agrícolas, al desarrollo de nuevas variedades de alta producción.

En el caso de Cuba, el cultivo de la caña de azúcar ha sido y continúa siendo un renglón importante en la economía. A partir de 1960, con la nacionalización de los centrales azucareros, el Estado asumió la responsabilidad de toda la producción azucarera y cosecha de este producto. Paralelo a ello, se ofrecen nuevas posibilidades de estudio y empleo, lo cual provoca que un grupo de jóvenes salgan de los campos hacia las ciudades, es aquí cuando comienza a escasear la mano de obra en los campos, además de ello, existía una preocupación por humanizar las labores agrícolas. Todo esto, condiciona la necesidad de desarrollar la mecanización de las actividades de la producción, cosecha y transporte de la caña de azúcar.

En 1961 se comenzó a probar las primeras máquinas cosechadoras. Luego en el período de 1963 a 1969 se inició la colaboración entre Cuba y la extinta Unión Soviética, en relación con las máquinas cosechadoras de la caña de azúcar. El 27 de junio de 1977, en la provincia de Holguín, se funda la fábrica de Cosechadoras Cañeras “60 Aniversario de la Revolución de Octubre” (KTP), inaugurada por el Comandante en Jefe, Fidel Castro, con el objetivo de fabricar las cosechadoras de

caña que demandaba el país y de este modo, evitar su importación, con lo cual, se logra la independencia tecnológica de la producción azucarera.

Después de inaugurada la fábrica se construyó la KTP-1 (Ver Anexo 1, Figura 1), en 1987 se comenzó a producir el modelo KTP-2 (Ver en Anexo 1, Figura 2), ya en el año 1994 se fabricaron 20 máquinas KTP-2M (Ver en Anexo 1, Figura 3), que es un modelo desarrollado a partir de mejoras realizadas a las KTP-2, las que se probaron en la zafra 1994-1995, su producción en serie se inició en 1996. En la zafra 1997-1998, se probó, con éxito, el modelo KTP-3000, al año siguiente se construyó un prototipo de la KTP-4000, que representó un avance conceptual, pues tenía un alto nivel de empleo de motores hidráulicos. En los años subsiguientes, no hubo un desarrollo palpable, hasta el año 2013, que se probó el modelo CCA-5000 (Ver Anexo 1, Figura 4), en el que se resume toda la experiencia acumulada por los mejores diseñadores y trabajadores de la industria.

La nueva cosechadora de caña CCA-5000, presenta un tamaño pequeño, está totalmente hidráulizada, posee una cabina climatizada, consta de un motor marca Caterpillar con 350 HP de potencia y con una cilindrada de 11.7. La transmisión es de tipo hidrostática con una velocidad de transporte de 20 km/h y la misma tiene una capacidad en el tanque de combustible de 450 litros y 460 en el tanque de aceite hidráulico. Además, al igual que todos los modelos concebidos en el país, esta máquina es capaz de cosechar un surco o hilera en cañaverales, con marcos de plantación desde (1.40 - 1.60) m.

Uno de los indicadores de eficiencia de más relevancia, al momento de evaluar una cosechadora de caña, es la productividad horaria, la cual depende del número de hileras, de la cantidad de caña en las mismas y de la velocidad de traslación dentro del campo. Sin embargo, como la cantidad de caña en cada surco está limitada por el potencial agro productivo del suelo, y la velocidad, por la topografía del campo, solo es posible incrementar la productividad teórica, sobre la base de aumentar la cantidad de surco o hileras a cortar.

Este hecho, condiciona como requerimiento funcional, lograr una cosechadora capaz de cosechar varios surcos al unísono. Por tal motivo, las firmas [CAMECO HARVEST, CLASS, JHON DEERE y CASE IH] han patentado diversos diseños de secciones receptoras, capaces de cortar varios surcos. En el año 2000, la CAMECO sacó al mercado un prototipo que cortaba dos surcos y más recientemente la CASE ha presentó la MULTI ROW A8800 (Ver en Anexo 1, Figura 5).

Al introducirse la mecanización de la cosecha y de las labores agrícolas cañeras, fue necesario modificar el marco de plantación existente, para adaptarlo a las características técnicas de las cosechadoras y de los tractores e implementos disponibles, lo cual condujo, a pasar de un marco de plantación, con una distancia entre hileras de (1.1; 1.2) m, al marco actual de 1.60 m entre hileras. Esto ocasiona, que se disminuya de 91 a 62 surcos, por cada 100 m de ancho del campo, llevando a la reducción de los rendimientos agrícolas, como una consecuencia directa de la disminución del número de tallos por hectáreas.

En Cuba, el objetivo fundamental, como país productor de azúcar, es aumentar los rendimientos por hectárea, razón por la cual, el Lineamiento 209 plantea que: *“La agroindustria azucarera tendrá como objetivo primario incrementar de forma sostenida la producción de caña [...]”* (Véase PCC, 2011). Como la cantidad de caña por cada surco tiene un máximo, determinado por el potencial agro productivo del suelo, entonces, necesariamente para incrementar los rendimientos por hectáreas, es preciso incrementar la cantidad de surcos. Por otra parte, se impone disminuir la compactación que ejerce la maquinaria sobre el suelo, donde se desarrolla el sistema radicular de la plantación.

En EE.UU, en el año 1978 Matherne demostró que en las distancias de (0.90 a 1.10) m, se obtienen mejores rendimientos y una alta población de tallos maduros. En Brasil, igualmente, se estudiaron los marcos de plantación estrechos y se obtuvieron resultados similares (Véase García R, Regla M, Alomá J, García M, Arzola N. 1994).

En Cuba, en el año 1992 Rigoberto Martínez investigó la distancia de siembra de 0.90 m contra la de 1.60 m y concluyó (Véase García R. 1998):

1. El empleo de la distancia de plantación de 0.90 m entre hileras, mostró diferencias significativas en cuanto a la longitud de los tallos con respecto al testigo (1.60 m), sin embargo, se observó que el grosor tuvo un comportamiento similar en ambas distancias.
2. Los valores de población expresados en tallos/m y tallos/h alcanzaron los mayores valores en la distancia de 0.90 m, en la que se produjo un incremento de un 45% en la producción de caña (t/h).
3. La distancia de 1.60 m superó en un 78,5 % las actividades culturales realizadas y en un 47% los gastos respecto a la distancia de 0.90 m.

De manera general, la reducción de la distancia entre las hileras de caña, hasta un valor permisible, presenta las siguientes ventajas:

- Mayor rendimiento por hectárea, (Ver en Anexo 2, Gráfico 1)
- Mayor porcentaje de tallos maduros.
- Menores costos en las atenciones culturales.
- Mayor retención de la humedad del suelo al disminuir la evaporización como consecuencia del incremento de la sombra.

A pesar de los excelentes resultados agrícolas que se obtienen en estos marcos de plantación, no se puede mecanizar la cosecha, porque las ruedas de la cosechadora, que circulan por el interior de la plantación, tendrían que pasar por encima de las hileras de caña, lo cual es imposible. Para vencer esta dificultad, en los países líderes en producción de caña y en Cuba, se plantan dos hileras muy próximas unas de otras (0.40) m y se deja un pasillo (1.40) m, para el tránsito controlado de la cosechadora dentro del campo, esto permite:

- Se logre una macolla muy ancha, pero que puede ser cortada por las maquinas diseñadas para cortar un surco.
- Aumentar los rendimientos cañeros por hectáreas.
- La cosechadora y los tractores no compactan el terreno donde se desarrolla el sistema radicular.

No obstante, debido a la proximidad entre ambas hileras, los sistemas radiculares se entre cruzan, lo que conlleva a una competencia por los nutrientes, como consecuencia de ello, el 50 % de las semillas se pierden, además, en el momento de la cosecha los remolques auto basculantes pasan por arriba de las cepas.

Para dar respuesta a la necesidad de aumentar los rendimientos y eliminar las deficiencias antes mencionadas, del marco de plantación (0.40-1.40) m, se propone el marco de (0.80-1.40) m, lo cual permitiría: incrementar aún más los rendimientos por hectáreas en un 45%, lograr un mejor aprovechamiento de la semilla, al eliminarse la competencia por los nutrientes, y conseguir que los remolques auto basculantes transiten por dentro del campo, sin afectar las cepas. Sin embargo, para alcanzar estas metas, las cosechadoras deben cortar dos macollas de forma simultánea.

Para ello, se requiere que las máquinas cosechadoras tengan una sección receptora capaz de cortar un frente de corte con un ancho máximo de 1.50 m y una trocha entre neumáticos de 2.2 m, con ello se resuelve la contradicción no antagónica, existente entre el aumento de los rendimientos cañeros y la mecanización de las actividades de producción-cosecha y transporte, porque se lograría plantar 90 hileras de caña en 100 m y la maquinaria transitaría en todos los casos por los pasillos laterales.

En Cuba, para pasar a la plantación de caña en el marco de (0.80-1.40) m, se podrían adquirir máquinas que cosechen múltiples surcos, pero en los campos cubanos existen más de 1500 cosechadoras KTP-2M, entonces se plantea la siguiente interrogante ¿Qué hacer con las cosechadoras KTP-2M? La respuesta es

diseñar una sección receptora que sea capaz de cosechar dos surcos simultáneamente, para adaptarlas a estas máquinas.

Sobre la base de estos criterios, esta investigación asume como:

Problema científico: ¿Qué características técnicas deberá tener una Sección Receptora para cortar dos surcos de caña simultáneamente, para adaptarlas a la Cosechadora de caña KTP-2M?

Objeto de estudio: Sección Receptora de la Cosechadora de caña KTP-2M.

Campo de acción: Diseño de los elementos de recepción de la caña y del mecanismo de corte de la Sección Receptora de una cosechadora, que corte dos surcos, para adaptarla a la KTP-2M.

Objetivo general: Elaborar una Proposición Técnica de Diseño de una Sección Receptora, de una cosechadora de caña, para adaptarla a la KTP-2M, para que pueda cortar dos surcos a la vez.

Objetivos específicos:

1. Caracterizar el diseño de las secciones receptoras de los diversos modelos de cosechadoras.
2. Diseñar los mecanismos de corte y recepción de una Sección Receptora para que pueda cosechar dos surcos simultáneamente, la cual será adaptada a la KTP-2M,

Tareas propuestas para cumplir el Objetivo específico # 2:

1. Aumentar la distancia del frente de corte de la sección receptora a 1.5 m.
2. Adicionar dos sinfines en ambos extremos, para acomodar las cañas enredadas.
3. Utilizar discos de KTP-1, con diámetro 990 mm.
4. Agregar 6 cuchillas de igual tamaño y material, a cada disco, para cortar con un total de 12 cuchillas cada uno.

5. Utilizar un reductor de engranes para la transmisión simultánea del torque de los discos de corte, el cual debe articular atrás y la potencia será transmitida por el Hidromotor M-51.
6. Utilizar un circuito hidráulico que será común para mover los sinfines y hacer girar la caja reductora de engranes de los discos de corte y el tambor levantador.

Hipótesis: Si se logra un Diseño de una Sección Receptora capaz de cortar dos surcos simultáneamente, para adaptarla a la cosechadora de caña KTP-2M, permitirá aumentar la productividad de la máquina, en campos con mayores rendimientos por hectáreas.

Métodos utilizados en la investigación:

1. Métodos Teóricos:

Análisis y síntesis. El análisis, permitió construir el marco teórico de la investigación, a través de la revisión de bibliografía especializada, sobre los antecedentes de las cosechadoras de caña y su tendencia actual. Mediante la síntesis de la información recopilada, se procedió a la elaboración de la Proposición Técnica del Rediseño de la Sección Receptora de la Cosechadora cañera KTP-2M.

Histórico – Lógico. Mediante este método, se estudiaron los avances realizados a los mecanismos de corte y recepción en los diferentes modelos de secciones receptoras de las cosechadoras de caña existentes, desde la década del setenta hasta la fecha, y sus efectos sobre la plantación, con lo cual se caracteriza su evolución y se puede determinar la tendencia futura para su desarrollo.

2. Métodos Empíricos:

Criterio de expertos: se realizaron consultas a los técnicos de las diferentes cosechadoras de caña existentes en el país.

Revisión de documentos: lo cual, permitió conocer los avances obtenidos en las secciones receptoras de los diferentes modelos de cosechadoras de caña.

Observación científica: para obtener el conocimiento del comportamiento del objeto de la investigación y acceder a la información directa e inmediata.

Resultado esperado: Obtener la Proposición Técnica del Diseño de una Sección Receptora que corte dos surcos, para adaptarla a la Cosechadora de caña KTP-2M, permitiendo así, la modernización de estas máquinas.

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES Y RETOS ACTUALES DE LA MECANIZACIÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR, DURANTE EL SIGLO XXI.

El propósito de este capítulo es mostrar el estado del arte que caracteriza el diseño de las cosechadoras de caña, la evolución de las mismas en el contexto internacional y en Cuba. Así como, los retos de la mecanización en el siglo XXI, para comprender los requerimientos funcionales, que se le imponen al diseño de las secciones receptoras de las cosechadoras del futuro.

1.1 La cosecha mecanizada de la Caña de Azúcar.

La **mecanización agrícola**, consiste en la incorporación de diferentes máquinas, equipos y sistemas en el proceso productivo de las explotaciones agrícolas y pecuarias, con el propósito principal de lograr una mayor eficiencia técnica, social y económica que permitan el incremento de la producción, sin degradar los recursos naturales.

La mecanización tiene como **objetivo fundamental** buscar el crecimiento económico, como fruto desarrollo de las actividades agrícola, pecuaria, forestal y agroindustrial. Crecimiento que permita elevar la calidad de vida y bienestar de la sociedad rural, mediante al aprovechamiento sostenible, ambientalmente limpio, técnicamente apropiado y socialmente aceptable, conservando los recursos naturales renovables. Así mismo, se propone aumentar la capacidad de trabajo del hombre y de los animales y, paralelamente, reducir el trabajo rudo y la fatiga de los operarios. El proceso de adopción de la mecanización ha transitado por diversas **etapas**:

- Aplicación de tecnología de herramienta manual mejorada.
- Aplicación de la tracción animal.
- Potencia estacionaria.
- Potencia móvil.
- Sustitución del control humano.
- Adaptación de prácticas de los cultivos a las máquinas.

- Adaptación de los sistemas agrícolas.
- Adaptación de la planta, mejoramiento genético.
- Automatización de la producción agrícola.

En lo referente a la cosecha de la Caña de Azúcar, la misma ha experimentado profundos cambios en su modalidad operativa en los últimos 40 años. A comienzos del siglo anterior las labores de recolección se realizaban manualmente. Esto requirió la contratación de gran cantidad de obreros, con gran esfuerzo físico. Hoy la cosecha tiene varias modalidades, que han ido variando en su porcentaje relativo a través del tiempo. Las modalidades más importantes son:

Cosecha Semimecanizada: parcialmente mecanizada, corte mecánico y a veces despunte, y acondicionamiento manual y despunte también manual en otros casos; se carga con cargado-ras a carros tolvas o cañeros en forma mecánica también.

Cosecha Integral: Es 100% mecanizada, donde una maquina cosechadora autopropulsada, corta, despunta, troza, limpia y carga a transporte o tolva todo el material que va a ser trasladado al central o Ingenio.

Así, las máquinas cosechadoras de caña realizan el proceso integral para la cosecha de esta, lo que se traduce en que las mismas deben cortar por la base y parte superior las cañas, trocearlas, eliminarles las impurezas que la acompañan (tierra, hojas y cogollos) y transbordarla a los medios de transporte que la conducirán a los Centros de Limpieza o al Basculador del central donde serán procesadas.

Las cosechadoras de caña, cuentan con toda una estructura, que les permite avanzar por el campo y ejecutar su proceso tecnológico de trabajo, para ello cuentan con:

- Chasis o bastidor.
- Sistemas de rodajes, transmisión, frenos, dirección, eléctrico, hidráulico, de señalización, etc.
- Cabina (donde radican regularmente los órganos de mando y control de la máquina).

- Motor Diésel (fuente energética).

Además, cuentan con los siguientes **Órganos de trabajo**:

- Mecanismo corta cogollos.
- Sección receptora
- Puntas divisoras.
- Elevadores de tallos.
- Barra de empuje (Tambor tumbador).
- Aparato de corte inferior.
- Placa de contra corte.
- Separadores de tallos.
- Ruedas de control de la altura de corte.
- Aparato troceador.
- Sistema de limpieza:
- Transportadores longitudinales primario y secundario.
- Ventiladores Primario y Secundario.
- Cámara neumoseparadora.
- Transportador de descarga.
- Tolva.
- Transportador.
- Visera o deflector.

Actualmente existe una gran variedad de marcas y modelos de cosechadoras de diferentes cultivos, que se ofertan en el mercado, generalmente conformadas por elementos muy similares y varían poco entre las diferentes marcas. En los últimos años se ha experimentado una importante evolución en el mundo de las cosechadoras, adecuándolas por aproximaciones sucesivas a las condiciones y características de la mayoría de las explotaciones de una gran variedad de cultivos.

1.1.1 Estructura y funcionamiento de las cosechadoras de caña.

Por lo general, la maquina cosechadora cuenta con un motor Diésel, como fuente energética, del cual parte y llega el movimiento hasta aquellas partes y mecanismos que decida el operador. Regularmente el motor se sitúa transversalmente, aprovechándose la salida de potencia por ambos extremos del eje cigüeñal, una de cuyas salidas le transmite el movimiento de propulsión a la máquina y la otra a los órganos de trabajo. Estas cosechadoras cuentan actualmente con un alto grado de hidraulización, lo que las hace técnicamente más fiables y productivas.

Durante la ejecución del proceso tecnológico de trabajo, la maquina a través del mecanismo corta cogollos, que es la parte más adelantada de la máquina, realiza el corte por la parte superior de las cañas. En la parte anterior, se encuentra también la Sección Receptora, o sea, los mecanismos de corte, recogida y alimentación. Estos últimos, están compuestos por un par de discos planos, que rotan al encuentro, intersecándose entre sí y con una inclinación hacia delante y hacia afuera, en cuya periferia se encuentran atornilladas las cuchillas que realizan el corte basal de la caña.

También, cuentan con un par de tambores cónicos (sinfines) que rotan hacia dentro, abrazan el surco de caña por ambos lados, levantando las caña que caen hacia los surcos vecinos, con el fin de alinearlas y agruparlas y un tope, que las empuja por arriba hacia delante y unos separadores laterales por fuera, con el fin de independizar los surcos contiguos. A continuación de los discos de corte basal, se encuentran un juego de tambores alimentadores, conformados por 3 tambores inferiores y 2 superiores que atrapan la caña cortada y la conducen hacia la sección de troceado, que se encuentra a continuación en el circuito de trabajo de la cosechadora.

La sección troceadora o seccionadora, está compuesta por 2 tambores que rotan al encuentro también, los que tienen montadas a 180° radialmente, 2 secciones de 6 cuchillas que realizan el troceado de la caña, cuando coinciden las cuchillas de ambos tambores.

La sección de limpieza está compuesta por dos transportadores longitudinales y dos ventiladores. La caña troceada en el picador, cae a un primer transportador a través de la corriente de aire de un primer ventilador, repitiéndose éste proceso hacia el transportador de descarga, a través de un segundo ventilador.

1.1.2 La sección receptora de las cosechadoras de caña.

Considerando, que la propuesta de diseño que muestra esta investigación, tiene por objeto de estudio, la Sección Receptora de la cosechadora KTP-2M, a continuación se describen las características generales de una sección receptora.

La **sección receptora de la cosechadora de caña**, es la encargada de efectuar el corte, recepción y la transportación de los tallos de la caña, además separa el surco que se cosecha de los adyacentes y recolecta la caña sembrada en las hileras y la transporta al desmenuzador. La misma tiene diversas **funciones**, como son:

- Delimita el surco de trabajo de la máquina.
- Recoge la caña y la entrelaza entre los surcos.
- Guía la caña hacia el aparato de corte inferior.
- Corta los tallos en su parte inferior.
- Transporta ordenadamente los tallos cortados hacia el picador.
- Efectúa una primera limpieza de tierra e impurezas a través de los tambores transportadores.
- Troza la masa cosechada.

Regulación de la sección receptora. (Véase Lebeque, Fernando y Pino J, (2006)

- La regulación de la presión del segundo tambor superior se efectúa con auxilio del mecanismo, cuidando que ambos muelles tengan la misma tensión.
- La posición del primer tambor superior se regula con auxilio de las tuercas. Al girar la tuerca, se elevan o desciendan, los topes deben salir a la misma altura.
- Después del reglaje la tuerca de regulación debe asegurarse con la contratuerca.

- La altura de corte se regula con la ayuda de las barras roscadas. Cuando se da vuelta la tuerca de acoplamiento descienden o se elevan las ruedas copiadoras y con ello se logra una posición determinada de los rotores respecto a la tierra.
- El amortiguado del mecanismo de regulación debe estar regulado de manera que la posición sobre cada rueda no supere los 100-105 kgf. La regulación se efectúa con ayuda de las tuercas del tornillo.
- Al establecer el aparato de corte en posición neutral el juego entre las placas debe ser no menor de 120 mm.
- El juego entre la pared de la cámara y la superficie del rotor son de 3-5 mm respectivamente y se logra corriendo la hoja reguladora por las ranuras.
- Después de la regulación, asegurar sólidamente la hoja.

1.2 Modelos de máquinas cosechadoras de la caña de azúcar.

Este epígrafe tiene como objetivo fundamental dar a conocer los antecedentes de la mecanización de la caña de azúcar en el mundo y más específico en Cuba.

1.2.1 Las máquinas cosechadoras de caña en el mundo. (Véase Eumed)

En diferentes países se desarrollaron varios esquemas tecnológicos de cosechadoras cañeras. Se construyeron modelos de máquinas en: Australia, la TOFT o AUSTOF, en Alemania, la CLAAS, en Estados Unidos, la CAMECO, en Brasil, la SANTAL. Todas estas cosechadoras, al igual que las cubanas KTP-1 y KTP-2, cortan la caña a ras del suelo y a la altura del cogollo, realizan el trozado de los tallos sometiéndolas a altas corrientes de aire que separan las materias extrañas que la acompañan y luego lanzan la caña a un medio de transporte que se sitúa al lado de la cosechadora (Véase Eumed).

El modelo Australiano TOFT (en la actualidad AUSTOFT) basa su esquema tecnológico en una secuencia de tambores alimentadores–despajadores (12 en total) que conduce la caña hasta un aparato trozador (antes del tipo machete, en estos momentos a base de tambores con cuchillas), donde es sometida a la acción de un

extractor, que separa las materias extrañas, al caer a un transportador de descarga giratorio, que las lanza al medio de transporte, que marcha al lado. Este, es uno de los modelos de mayor aceptación en la actualidad. La norteamericana CAMECO es muy similar a la AUSTOF.

El modelo CLAAS, posee un esquema totalmente diferente: el aparato trozador, ubicado inmediatamente después del aparato de corte inferior, troza y lanza la caña a una estera, que la conduce hasta un transportador de descarga fijo; aprovechándose la cascada para expulsar las materias extrañas, con auxilio de un ventilador axial con potente flujo de aire.

La brasileña SANTAL tiene un transportador de descarga fijo, de nuevo tipo, donde la caña se traslada por la acción de un tambor lanzador y se limpia de impurezas por medio de ventiladores ubicados en su parte posterior.

1.2.2. Análisis de Patentes para la selección de la variante a utilizar.

La firma CLASS propone replicar las secciones de corte, por lo que utiliza cuatro discos de corte y en el centro dos sinfines divisores con sentido de rotación opuesto, el inconveniente de esta propuesta está dado en que los surcos en el marco de plantación (0.80-1.40) m, están muy cerca y después de la primer cosecha no existe separación entre ellos, por lo que el vértice de los sinfines centrales chocaría contra el macizo cañero y no podría avanzar.

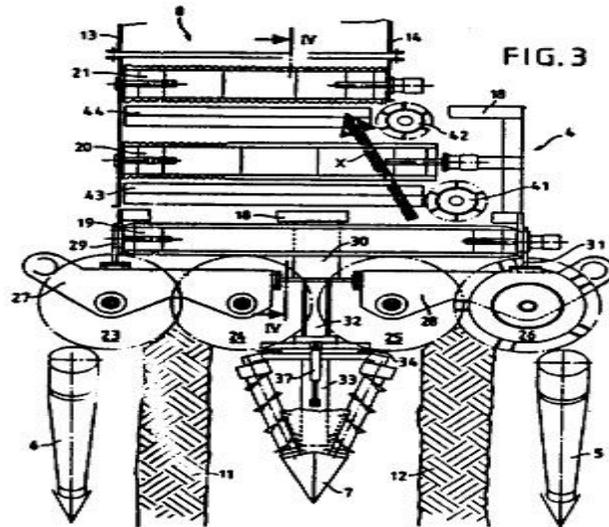


Figura 17. Ejemplo de patente de La CLASS. DE4015894

La Figura 18. corresponde a la patente US5303533, de la firma CAMECO de Estados Unidos, en ella en vez de discos de corte, se proponen cadenas con segmentos de corte, los que pueden cortar la caña en el centro, pero realizarían el corte perpendicular al sentido de avance, esta característica puede provocar el incremento de las pérdidas de cosecha.

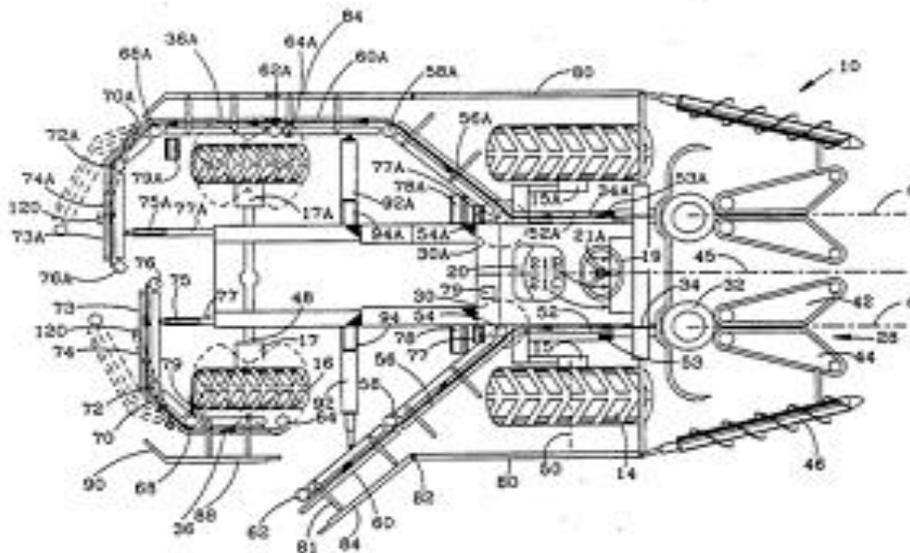


Figura 18. Mecanismo de corte de dos surcos. US5303533.

También se estudió la patente de la firma CASE que se ilustra en la Figura 6, este modelo de cosechadora corta tres surcos de caña, la hilera central la cortan con dos discos de 0.65 m, y la de los extremos con los discos de corte (1), de un metro de diámetro y con doce cuchillas, como el centro de dichos discos esta desplazado hacia el borde del plantón, la caña se direcciona bien, mediante la fuerza centrípeta, hacia los tambores elevadores.

1.2.3. Cosechadoras de caña más utilizadas a nivel mundial en la actualidad.

CAMECO modelo CHW-3500: Es una máquina americana, entre las ventajas y beneficios que ofrece esta, se pueden mencionar las siguientes:

- El diseño estructural permite mejor distribución del peso de la cosechadora.
- Se ha comprobado que es la cosechadora más confiable y robusta del sector azucarero, gracias al depósito de combustible de 568 Lts y a la excelente eficacia de aprovechamiento del combustible de la máquina, podrá trabajar durante toda la jornada sin parar a recargar.

CLAAS: Son máquinas alemanas, accionadas por motores diésel de la firma Mercedes Benz y de la firma Caterpillar. Estas cosechadoras cumplen de forma similar las funciones anteriormente descritas. El accionamiento es hidrostático a través de una caja de cambios pre conmutada de 3 marchas. La cabina está colocada de tal manera, que el conductor siempre tenga una buena visibilidad sobre la máquina y el terreno. Todos los elementos de mando están ordenados ergonómicamente.

JHON DEERE 3520: Esta máquina es fabricada en el este de Moline, Illinois en Estados Unidos, es una cosechadora que logra pasar por las condiciones más difíciles y está equipada con el comprobado, confiable, poderoso, y económico en combustible: motor John Deere de 24 válvulas Power Tech 9.0L de 337 HP (375 HP opcional); el exclusivo Field Cruise (Crucero de campo), que es ahora estándar, le permite al operador ajustar la velocidad del motor a 2000 RPM en campos de

poca producción por hectárea, para economizar combustible, diseñado específicamente para aplicaciones agrícolas.

CASE IH A7000: Es fabricada por CASE IH AUSTOFT en Brasil, esta máquina está constituida generalmente por circuitos hidráulicos comandados por circuitos eléctricos, que conjuntamente con los sensores mantienen el mando y control estricto de cada acción llevada a cabo por la máquina. Estas acciones son ejecutadas por componentes mecánicos o subsistemas.

CASE MULTIROW A8800: Esta cosechadora es capaz de cortar desde un surco hasta tres (Ver Figura 6), esto hace que sea la máquina de mayor productividad en el mercado, además es capaz de trabajar en diferentes marcos de plantación (0.40-1.60) m, debido a que posee un frente de corte regulable (0.65-1.50) m.



Figura 6. Cosechadora CASE A8800, picando tres surcos simultáneamente, con una distancia entre hileras de 0.70 m. **Fuente:** Manual de la CASE A8800.

1.2.4. Las máquinas cosechadoras de caña en Cuba (Véase Ecured).

La primera máquina cortadora de caña de azúcar en Cuba, fue presentada por A. N. Holdey en 1910, cerca de Jovellanos, en la provincia de Matanzas. Esta máquina se desechó por sus frecuentes roturas, luego en el período comprendido entre 1915 a 1918 fue probada la combinada Luce (Autor: George Don Luise, de EEUU); incluía sistema de limpieza, se utilizó durante 1920 y fue desechada, también, debido a su baja fiabilidad.

Al triunfo de la Revolución, en 1959, no existía en el país ningún grado de mecanización en el corte y alza de la caña de azúcar, y no fue hasta 1961, cuando comienzan los primeros trabajos en las pruebas de máquinas cortadoras de caña, luego en 1962 se probó la INCA de África del Sur.

En 1963 se construyeron 680 máquinas cortadoras cubanas de tipo ECEA-MC-1, diseñada sobre la base de las cosechadoras INCA de Sudáfrica, Thomson modelo Hurry-Cane y Thornton modelo F de la Internacional Harvester. Este tipo de máquina cortaba a ras del suelo, descogollaba y dejaba caer en el suelo bultos de caña conformados por un aditamento basculante acumulador, lo que favorecía el alza posterior. Sin embargo, su desventaja consistía en la gran cantidad de hombres que necesitaban para limpiar la caña que caía al suelo.

A partir de este año, comenzó a destacarse la colaboración soviética con relación a las nuevas máquinas cosechadoras construidas en las fábricas soviéticas “Rosselmash” en Rostov, “Zaporozhe” y “Ujtomsky” en la ciudad de Liubertsí. Con esta colaboración, comprendida en el período 1963-1969, se obtuvieron las siguientes máquinas:

- Combinadas autopropulsadas KT-1 que cumple por completo el proceso tecnológico. De estas máquinas entraron 30 a Cuba en 1965.
- Combinada de arrastre KCT-1 que corta, limpia y deposita la caña en la carreta, con una productividad de 5 000 @ (en una jornada de 8h).

Las máquinas y medios para la mecanización de la cosecha, diseñadas en Cuba, continuaron desarrollándose a pesar de la introducción masiva de la KCT-1. En forma concreta este desarrollo puede resumirse en las máquinas y medios de mecanización siguientes:

- Combinada cubano-checa (MCCL-1). Fue la primera máquina combinada fabricada en nuestro país (1964) después del triunfo de la Revolución.
- Combinada de caña CCE-1 (de semiestera) y la CC-2 (de goma). Estas, fueron las primeras máquinas, alimentadas con los mecanismos pasivos, sin agarre

que se fabricaron en Cuba en 1968, que posteriormente recibieron el nombre de Libertadoras. En 1969 se construyeron las primeras 25 máquinas Libertadoras modelo 800, posteriormente se desarrollaron los modelos, 1400 y el 1600, con distintos anchos de trabajo para campos de alto rendimiento.

- Cosechadora frontal Henderson (1-CFH) fabricada en 1968. Cortaba, trozaba y alzaba caña verde o quemada de alto rendimiento. Realizaba la limpieza en el centro de beneficio y transbordación. Se construyeron 148 de estas máquinas montadas en tractores de esteras soviéticos C-100, las que presentaron múltiples dificultades que condujeron a su desactivación.
- Combinada de caña autopropulsada y trozadora (CCAT-910). Se construyó en 1969.
- Combinada Massey-Ferguson modelo MF-201 Cane Commander (fabricada en Australia). Empezó a funcionar a fines de 1970. Hasta el año 1973 se introdujeron en Cuba cerca de 400.
- Cosechadora de arrastre Mini-Henderson. Fue creada en 1971 para cortar caña quemada, trozarla y depositarla en un medio de transporte. La limpieza de la caña se realiza en el centro de beneficio y transbordación. Esta máquina corta campos con rendimientos menores de 100000 arrobas por caballería.
- En 1971 surge la Combinada KTP-1, cubano-soviética (tomando como base a la máquina CCAT-910). Es probada en la Estación de Artemisa, y en 1977 se construye, en Holguín, la fábrica “60 Aniversario de la Revolución de Octubre” (KTP); donde se inicia su producción seriada.
- Durante el período 1977 a 1985 surgen nuevos prototipos, como la KTP-3, KTP-23, a los cuales se les realizan las pruebas tensométricas; trabajo desarrollado de conjunto por los especialistas de la Fábrica KTP, el CEDEMA y el ISTH.
- En 1987 aparece un nuevo diseño que fue la KTP-2, el cual se introduce en forma seriada a partir de ese propio año. También en este período aparece la CCA-3.

- En este mismo año fueron adquiridas 4 máquinas CLAAS-2000 con la sección receptora regulable para la mejora de los rendimientos agrícolas. Se adquirieron con el objetivo de compararlas con las de producción nacional.
- Durante los años 1994-1995 surgen dos modelos de la KTP-2M, a partir de mejoras realizadas a las KTP-2, se fabricaron 20 máquinas de este tipo y rindieron por las 40 que tenía en ese momento el CAI “Antonio Maceo” durante la zafra de 1995-1996, es a partir de este último año que comienza la producción seriada de estas máquinas.
- Durante el período de 1996-1999 se continuó con el desarrollo de la CCA-3, la KTP-3000 y la KTP-3S especialmente para la cosecha en condiciones de elevada humedad, y el desarrollo de nuevos prototipos como la KTP-4F, KTP-4G y la KTP-5. De todos estos modelos experimentales sólo se produjo en serie la KTP-3S que se fabricaron 15 y fueron explotadas en la empresa “Fernando de Dios”.
- Actualmente, el país potencia el desarrollo del prototipo de la cosechadora de caña CCA-5000, la cual cosecha un surco en cañaverales con marcos de plantación de (1.40-1.60) m. La misma, tiene un tamaño comparable a los modelos actuales de la competencia a nivel mundial, posee un adecuado balance de carga, que le permite mejor desplazamiento y maniobrabilidad con excelentes condiciones operacionales, en su diseño se introducen conceptos revolucionarios tales como: el empleo de dos hidromotores, uno para cada eje del picador, a pesar de estar acoplados por engranes de dientes rectos; posee una unidad centralizada de bombas e hidromotores, en su lateral izquierdo, que permite facilidad para el mantenimiento, caja reductora para los discos de corte, conocida como corte base, lo cual permite simplificar el circuito hidráulico y sincronizar la rotación de los discos de corte.
- Las cosechadoras cañeras han sustituido al trabajador manual dedicado a esta labor, con ello, el Estado ha contado con una mayor fuerza productiva, la cual dedicó a otras faenas. La caña cosechada con el uso de las combinadas

fue creciendo paulatinamente, pasando de un 25% en 1975 al 94% en 2009 (Véase Monografías).

En la actualidad, el país dispone, para la mecanización de la cosecha de la caña, de un parque cercano a 4200 cosechadoras, mayormente KTP-1 y KTP-2 de fabricación nacional. Esto hace que Cuba sea uno de los países, que más alto nivel tiene en la mecanización de la cosecha cañera. Además, Cuba posee su propia fábrica de cosechadoras, la cual tenía una capacidad de producción de 600 máquinas anuales.

1.3. Análisis de la evolución de los requerimientos funcionales y de las características técnicas.

Desde el inicio de la mecanización de la caña se necesitaban máquinas cosechadoras muy productivas que trabajaran en campos de altos rendimientos. Pero las primeras cosechadoras eran poco productivas y fiables, esto condujo a los principales diseñadores de cosechadoras, tanto en el mundo, como en Cuba, a seguir perfeccionando sus diseños. Para ello se empezaron a utilizar máquinas con mayor potencia, fiabilidad y durabilidad, con el surgimiento de los hidromotores se fueron hidraulizando, luego con el empleo de las electroválvulas se fueron automatizando las mismas, esto ha permitido que en la actualidad los diferentes modelos que se producen tengan una elevada fiabilidad.

La expresión general para determinar la productividad de una cosechadora está dado por la masa de caña cosechada en una unidad de tiempo X . Basado en lo anteriormente expuesto, se conoce que el rendimiento de la masa vegetal por la velocidad dada, refleja la productividad de la máquina, que está determinada por la ecuación (Véase IGLESIAS, (1974); JROBOSTOV, (1977); JIMÉNEZ, (2007).

$$W = V_k \cdot R_a \cdot B_k \cdot \tau_k \quad (kg/s) \quad (1)$$

Donde:

B_k - ancho de trabajo de la combinada (m).

V_k - velocidad de la cosechadora, (m/s).

R_a - rendimiento agrícola del campo, (kg/m²).

τ_k - coeficiente de utilización del tiempo de explotación de la combinada.

Al analizar la expresión (1) se deduce que la productividad depende directamente de la velocidad de traslación, de los rendimientos agrícolas, del ancho de corte y del tiempo en que se utiliza la cosechadora de modo continuo. Esto explica, porque los diseñadores han puesto tanto empeño en elevar la fiabilidad, después, se ha buscado mayor potencia, para cortar en campos de alto rendimiento y lograr mayor velocidad de desplazamiento. Sin embargo, ambos factores han alcanzado los valores límites, el primero porque se llega al potencial agro productivo del suelo y el segundo porque las vibraciones y aceleraciones que surgen en la máquina impiden un incremento de velocidad.

De lo anterior se deduce que, para continuar incrementando la productividad, solo es posible, sobre la base del incremento del ancho de corte (B_k), es por ello que desde el año 2000 firmas como (CAMECO, CLASS, JONH DEER), han desarrollado modelos para cosechar dos surcos y más recientemente la CASE desarrolló un modelo que corta tres.

Por su parte, Rodríguez (2005), plantea “una vía para garantizar una producción cañera de gran magnitud es elevar la eficiencia de la maquinaria, y su perfeccionamiento a través de modelos y proyectos cada día más fiables”. El desarrollo de nuevas máquinas cosechadoras más potentes fue un paso importante en este sentido. Como consecuencia de este lógico desarrollo que ha sufrido la industria azucarera, sobre todo en su eslabón de cosecha, se ha continuado el perfeccionamiento de los equipos (Véase, Rodríguez, 2005)

Los estudios integrales de evaluaciones alrededor de las máquinas cosechadoras de caña permiten la corrección de posibles deficiencias de diseño, evitando que pasen con errores a la etapa de producción en serie, o que sean adquiridas por el país, máquinas que no se adaptan a las condiciones reales del mismo.

Las mejoras que constantemente se le introducen a estas cosechadoras tienen, principalmente como objetivo, conseguir buenos resultados de corte en plantaciones de elevado rendimiento, algo de lo que adolecieron los modelos iniciales, y además incrementar la efectividad en la eliminación de hojas y el cogollo, lo cual favorece el aprovechamiento industrial de la materia prima.

Tanto las cosechadoras de caña de azúcar, diseñadas y fabricadas en el país, como algunos modelos importados, han sido sometidos a diversas evaluaciones con vistas a valorar su eficiencia y confort. No obstante, investigaciones recientes señalan, que las pruebas que se realizan en las máquinas cosechadoras no consideran de manera integral las condiciones de explotación, fiabilidad, ergonómicas y agro técnicas propias del país (Rodríguez, I. 2005).

1.4. Ventajas y desventajas del proceso de mecanización de la cosecha de caña de azúcar (Sánchez, R. 2005).

Es importante saber por qué ha tenido tanta utilización en el paso de los años la mecanización de la caña y que inconvenientes ha traído consigo. De acuerdo a los análisis realizados en la mayoría de los ingenios (también: centrales, en masculino en Cuba) y a nivel mundial, la mecanización trae aparejado diversas ventajas, como son:

- Incrementa la producción, la productividad y la competitividad.
- Permite la planificación del trabajo.
- La recolección oportuna de los cultivos (evitan pérdidas en las cosechas).
- La reducción de la fatiga del trabajo, pero a su vez la mano de obra.
- La preparación de los suelos difíciles.
- Disminución de los costos de producción.
- Desarrollo regional.

Asimismo, la mecanización de la cosecha de la caña trae aparejada varias ventajas, entre las cuales destacan, las siguientes (Sánchez, R. 2005):

Entrega de caña más fresca al central:

- En caña sin quemar se reduce el tiempo entre el corte y la llegada de la misma al central.
- Se minimizan las pérdidas de sacarosa, ya que la caña no se degrada tan rápidamente.
- En caña quemada se reduce también el tiempo entre la quema y la llegada de la caña al ingenio.
- En el corte manual, es necesario esperar a que termine el corte de la caña en todo el campo para iniciar la carga y transporte de la misma.
- La cosecha mecanizada permite cosechar las 24 horas del día.

Menor costo por tonelada cosechada:

- En algunos ingenios, se ha reducido el costo por tonelada cosechada mecánicamente hasta un 20 % respecto al costo por tonelada cosechada de forma manual.
- Se reduce el costo de administración de personal, ya que dos operarios y un encargado de la cosechadora hacen el trabajo equivalente a 100 cortadores de caña.
- Eliminación del rebote (acción de quitar el tronco de la caña que deja el cortador).
- Se eliminan todos los gastos relacionados con el manejo de 100 cortadores, algunos de los cuales se detallan a continuación:
 - Transporte del personal del campo al sitio de trabajo.
 - Machetes y limas.
 - Refrescos.
 - Atención médica.
 - Transporte del sitio de origen al lugar de trabajo.
 - Alimentación.
 - Incentivos.
 - Agua y energía eléctrica.
 - Alojamiento.
 - Combustible (gas, carbón, leña, etc.)

Simplicidad y Control de la operación de cosecha:

- Se programa adecuadamente la cosecha, ya que depende solamente de dos operarios y un encargado de mantenimiento, los cuales cosecharán el equivalente a 100 cortadores.

Seguridad en la cosecha y entrega de caña:

- No se presentan problemas de entrega de caña los fines de semana y días feriados.
- Se tiene una entrega continua durante toda la zafra.

Mejora en el transporte de caña:

- La caña cosechada mecánicamente en trozos es más densa que la caña larga, especialmente cuando esta última no es recta. Por lo tanto, el equipo transporta mayor tonelaje de caña.

Ayuda al proceso del central:

- La caña cosechada mecánicamente por las cosechadoras, llega trozada al ingenio.
- La caña trozada fluye más fácilmente en la mesa de alimentación.
- No se requiere lavar la caña trozada.
- Se elimina la posibilidad de que lleguen piedras, troncos u otros objetos al ingenio, muchos de ellos recogidos por las cargadoras.

Protección del medio ambiente.

- La cosecha de caña en verde evita la quema de la misma, con los siguientes beneficios ambientales:
 - Evita el daño a la flora y la fauna.
 - Reduce el calentamiento global.
 - Permite la incorporación de materia orgánica al suelo.
 - Evita la erosión, al dejar los residuos sobre el suelo.
 - A corto plazo, reduce los gastos en fertilización.
 - Mejora la textura del suelo.
 - Conserva la humedad del suelo.
 - Se evitan los siniestros de cultivos adyacentes.

- La cosecha mecanizada de caña de azúcar representa una gran oportunidad de reducir costo, hace más eficiente la operación de cosecha y entrega óptima de caña al central, rentabiliza la operación de transporte y minimiza los impactos negativos al medio ambiente, contribuyendo a la productividad de los ingenios.

Desventajas:

- La mecanización no se puede desarrollar en forma repentina; es un proceso de apropiación y adaptación.
- Algunos procesos mecánicos de difícil mantenimiento, carencia de soporte técnico.
- Una mala selección, planificación y uso pueden generar efectos degradantes del recurso suelo.
- Requerimiento de mano de obra calificada.
- Se requiere investigación aplicada en el uso de maquinaria con prácticas agrícolas apropiadas.
- Adaptación de los cultivos, desarrollo de nuevas variedades.
- Gran exigencia de capital para inversión y sostenimiento.
- Desplazamiento de mano de obra rural y desempleo.

1.5. Comparación de las Secciones Receptoras de los modelos de cosechadoras (CASE 7000, CASE A8800 con la KTP-1 y la KTP-2M).

Este epígrafe tiene como objetivo fundamental, ver las principales diferencias de las secciones receptoras de los modelos de cosechadoras más utilizados de la compañía CASE con los de la KTP-1 y la KTP-2M.

Sección receptora de los modelos KTP-1 y KTP-2M.

La sección receptora de los Modelos KTP-1 y KTP-2M se va a caracterizar porque en la parte delantera posee dos sinfines, que se encargan de llevar la caña hacia el centro de la máquina, detrás de ellos, unas barras curvadas tumban el bulto de caña hacia delante, de modo que se ponen en posición para ser cortadas por los discos de corte inferior, los cuales tienen un diámetro de 990 mm y 6 cuchillas para el troceado

de la caña. Cada disco se acciona independientemente del otro mediante un reductor cónico que recibe el movimiento por un mecanismo de transmisión de cadenas. En los laterales después de los sinfines y al nivel de los discos de corte, se encuentran las ruedas copiadoras, que se encargan de regular la altura de corte. La sección receptora se acopla al bastidor de la máquina mediante una chumacera. (Ver en Anexo 1, Figura 3.)

Sección receptora del modelo CASE 7000.

En este modelo, la sección receptora se caracteriza por tener en la parte delantera cuatro sinfines, los cuales dos se encargan de llevar la caña hacia el centro de la máquina, y los otros dos hacia fuera con el objetivo de acomodar la caña enredada, la cual será cortada con los discos laterales, los cuales auxilian en la cosecha de caña verde, separando la línea de corte del camino lateral. Detrás de los sinfines, se encuentra el tambor tumbador, cuya función es tumbar la caña hacia delante y acomodarla, de modo que se ponen en posición para ser cortadas por los discos de corte inferior, los cuales tienen un diámetro de 600 mm y 6 cuchillas para el troceado de la caña. Asimismo, los discos están acoplados a un corte base, el cual recibe el movimiento por un hidromotor. La altura del corte se regula por un cilindro hidráulico ubicado en las ruedas delanteras.

Es importante señalar que el conjunto de corte base está acoplado al bastidor y los ejes que accionan los discos de corte, van en voladizo, según se muestra en la (Figura 6). Esto ocasiona, que este sufra muchas roturas mecánicas, evidencia de ello es, que de un total de 164 cosechadoras, en la zafra 2014-2015 hubo que reponer 10 corte base, que representa 6,1 % del total, lo que significa un nivel aceptable de rotura para este conjunto.

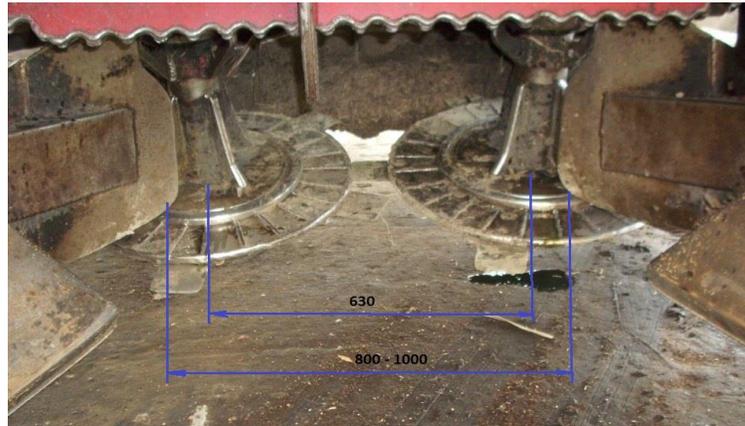


Figura 3. Sección receptora de la cosechadora de caña CASE 7000. **Fuente:** Álvarez, V. 2014.

Sección receptora del modelo CASE A8800.

La cosechadora de caña modelo CASE A8800 MULTIROW, es la máquina que mayor productividad tiene en el mercado, ya que, corta desde (uno hasta tres surcos). La hilera del centro, la corta con el corte base con dos discos que tienen un diámetro de 600 mm y 6 cuchillas, para el troceado de la caña, que es lo que tienen los modelos precedentes, para cortar los otros dos que quedan a ambos lados, se utiliza respectivamente discos de 1m de diámetro con 12 cuchillas cada uno. Estos, están acoplados a un corte base, el cual recibe el movimiento por un hidromotor. La altura del corte se regula por un cilindro hidráulico ubicado en las ruedas delanteras.

Esta máquina es capaz de cortar tres surcos, debido a que posee una sección receptora regulable (o adaptable) que permite picar con un frente de corte desde (0.65-1.50) m, el cual se logra por medio de un cilindro hidráulico, que está ubicado en el centro de los bastidores de los sinfines, que posibilita cortar la caña en diferentes marcos de plantación (0.40-1.60) m, como muestra en la Figura 7.

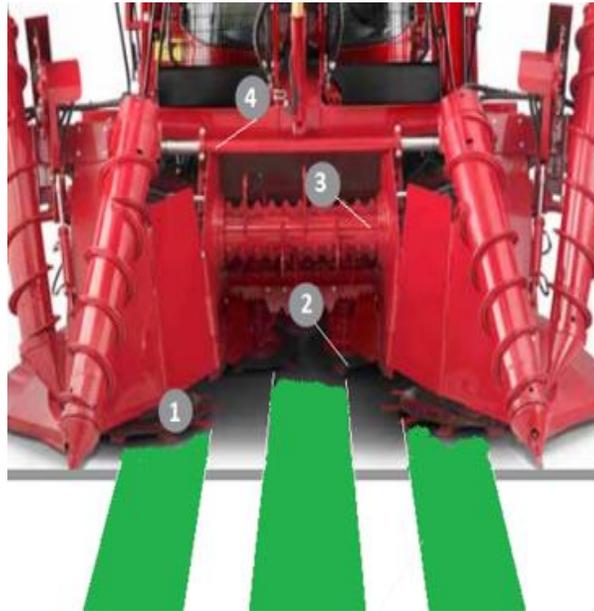


Figura 7. Sección Receptora de la cosechadora de caña CASE A8800. **Fuente:** Manual de la CASE A8800.

Leyenda de la Figura 7.

- Discos de 1m de diámetro con 12 cuchillas cada uno, para cortar los surcos exteriores.
- Corte base con discos de 600 mm y 6 cuchillas, para cortar el surco del centro.
- Tambor tumbador, tumba y acomoda la caña, para cortarla más fácilmente.
- Cilindro hidráulico, permite regular la sección receptora para el marco de plantación que se necesite cortar.

1.6. Retos de la Mecanización de la caña en el siglo XXI.

En este epígrafe se hablará sobre los principales retos que presentan los diseñadores de cosechadoras, para lograr que las mismas tengan una mayor productividad y fiabilidad.

1.6.1. Retos de la cosecha mecanizada de la caña de azúcar en el siglo XXI.

Los principales retos de la cosecha de la caña en este siglo son sin lugar a dudas la creación y fabricación de máquinas cosechadoras que:

- a) Corten varias hileras a la vez, ya que lo que se necesita es aumentar los rendimientos por hectáreas, así como aumentar la productividad y eficiencia de las mismas.
- b) Sean capaces de aumentar su velocidad de traslación.
- c) Disminuyan el consumo específico de combustible por tonelada de caña cosechada.
- d) Giren en las cabezas de los campos en un mínimo de tiempo.
- e) Tengan una elevada fiabilidad.
- f) Que disminuyan la compactación del terreno donde se desarrolla el sistema radicular de la planta.

En correspondencia con lo antes planteado, la Corporación Brasileña CASE fabricó la cosechadora (CASE A8800) que es multi hileras ya que posee una sección receptora regulable que le permite cortar (uno, dos y tres) surcos simultáneamente, en dependencia de lo que se necesite, la misma está montada sobre esteras engomadas para dar solución a los problemas de disminuir la compactación que ejerce la máquina sobre el terreno donde se desarrolla el sistema radicular de la planta.

Es uno de los principales retos de todos los diseñadores y fabricantes de cosechadoras de caña en el mundo, crear y fabricar máquinas que posean estos requisitos funcionales, por ser uno de los mejores avances tecnológicos en lo que a cosechadoras de caña se refiere.

1.7. Metodologías de diseño mecánico.

Durante los últimos 50 años se han desarrollado múltiples metodologías de diseño con el objetivo de ayudar a los ingenieros y diseñadores a encontrar una vía, un camino que los conduzca a expresar de una mejor manera sus potencialidades creativas enfocadas a lograr un producto altamente competitivo. A nuestro alcance se encuentran las metodologías de diseño del DrC. Robert L. Norton del Worcester Polytechnic Institute, las del DrC. Joseph Edward Shigley, profesor de la Universidad

de Michigan, y la del DrC. Vladimir Álvarez Sánchez, profesor de la Universidad de Holguín. De los principales pasos que proponen estas metodologías la (Tabla 1) muestra un breve resumen.

Tabla 1. Metodologías para el diseño mecánico.

Pahl / Beitz	Koller	Shigley
Planteamiento de la tarea.	Planteamiento de la tarea.	Reconocimiento de la necesidad.
Definición de los requisitos.	Esclarecimiento de la tarea.	Definición del problema.
Concepción del artículo.	Síntesis de la estructura funcional.	Síntesis.
Elaboración de los principios de selección. Evaluación.	Estructura de funcionamiento parcial. Operaciones básicas. Evaluación.	Análisis y optimización.
Proyección, diseño grosero, fino y evaluación. Diseño definitivo.	Síntesis cualitativa. Formas. Definición de grupos y elementos. Evaluación.	Evaluación.
Diseño de taller. Despiece. Confección de la documentación.	Cálculos dimensionales, acotado, despiece, confección de la documentación.	Presentación.

En esta investigación se utilizó la metodología propuesta por Álvarez, ya que la misma permite:

1. Cumplir con las exigencias del Sistema Único de Documentación de Proyecto.
2. Determinar los mejores valores de las Características Técnicas Básicas a partir de un modelo matemático de los indicadores de eficiencia.
3. Encontrar una solución novedosa, que garantice la mejor eficiencia del equipo durante su explotación.

1.7.1. Metodología para el diseño mecánico utilizada en la investigación.

Como se mencionó anteriormente la metodología utilizada en esta investigación para el diseño mecánico es la propuesta por Álvarez en el 2011).

Este autor, define el proceso de diseño como: “*Un proceso **creativo** y de **optimización**, que se desarrolla dentro de un **contexto determinado**, con el propósito de **definir la información** necesaria **para la elaboración** de una pieza, producto, software, sistemas u organización, encaminado a **satisfacer las necesidades humanas**” (Véase, Álvarez, 2011)*

El propio autor explica que “es un proceso **creativo**, porque, plantea una solución no existente sobre la base del desarrollo precedente, y de **optimización**, porque, se busca llegar a la mejor solución de modo integral, debido a que hoy en día, el nivel del desarrollo tecnológico es tan alto, que no existe la exclusividad productiva y no se llega al mercado con la mejor solución. Es difícil lograr una elevada competitividad.

Álvarez hace hincapié en que el diseño se realiza en un contexto determinado, porque, las restricciones que definen el espacio solución van a estar dadas, por el nivel del desarrollo tecnológico alcanzado y por el nivel de acceso al mercado de materias primas y el mercado financiero. No es más, que los requerimientos funcionales que impone la solución del problema dado.

Por otra parte, el Sistema Único de Documentación de Proyecto, en la norma cubana, plantea cuatro etapas de la documentación de proyecto.

1. La tarea técnica (TT). Es el documento, primario del proceso de elaboración de un proyecto, donde se labora en base a investigaciones realizadas, pronósticos, logros de la ciencia a nivel nacional e internacional, patentes y requisitos que pide el usuario.
2. La proposición técnica (PT), es el conjunto de documentos donde contiene los datos técnicos, económicos.
3. El Anteproyecto (AP), son los documentos donde contienen las soluciones del principio del artículo, idea general de diseño (Principio de funcionamiento y los elementos componentes)
4. El Proyecto (P), es el conjunto de documentos gráficos y texto, donde contiene las instrucciones técnicas, cálculos y planos.

Partiendo de estas etapas, Álvarez, también, elaboró una metodología del diseño mecánico, donde propone integrar las etapas de diseño, propuestas por la norma cubana, y el concepto de diseño que el plantea, la misma consta de las siguientes etapas:

1. Identificación de la necesidad. Se expresa de modo breve, en ocasiones sin claridad.
2. Investigación preliminar. En esta etapa además de conocer el estado del arte y las necesidades del cliente, mediante el análisis histórico lógico se plantea la evolución de los requerimientos funcionales, las características técnicas y los indicadores de eficiencia a evaluar.
3. Determinación de los valores óptimos de las Características Técnicas Básicas. Que se definen como aquellas que inciden directamente en los valores de los indicadores de eficiencia. Para ello es necesario determinar y evaluar la expresión o el modelo matemáticos que evalúa los indicadores de eficiencia en función de las características técnicas básicas. Esto permite plantear un modelo ideal que sirve para indicar hacia donde tiende el límite de las Características Técnicas Básicas, cuando se busca el óptimo (mínimo o máximo) de los indicadores de eficiencia.
4. Planteamiento de la tarea técnica. Al incluir en la misma, los valores de las Características Técnicas Básicas, que permiten lograr mejores parámetros de eficiencia de la cosechadora, se garantizará una alta eficiencia durante su explotación.
5. Planteamiento de la proposición técnica, donde se realiza el proceso de ideación y de análisis de la variante propuesta.
6. Planteamiento de un anteproyecto.
7. Diseño detallado. Es donde se elabora la documentación detallada del proyecto, es decir, se llenan las Hojas de especificaciones Técnicas, se elaboran los planos de las piezas en detalles y los planos de conjuntos del proyecto.
8. Creación de prototipos.

9. Pruebas y ensayos.

10. Corrección de la documentación de proyecto y elaboración de la información tecnológica para la producción definitiva.

Por ello, se propone como una herramienta válida, en la búsqueda de la excelencia competitiva y para elevar la calidad del proceso de diseño.

En la presente tesis, como indica el título, la misma se aplicará hasta el paso cinco y solo se analizarán algunas expresiones matemáticas y no el modelo matemático general, que describe los indicadores de eficiencia durante la explotación de las cosechadoras. No obstante, se determina la tendencia de las Características Técnicas Básicas de la Sección Receptora.

CAPÍTULO II. REQUERIMIENTOS FUNCIONALES, DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS BÁSICAS.

En el Capítulo I, se planteó la tarea técnica y se realizó un estudio preliminar, lo cual permitió precisar el problema o tarea a resolver. En el presente Capítulo se analizarán los pasos tres, cuatro y cinco de la metodología seleccionada, a partir de lo cual, se elaboró una Proposición Técnica de diseño, de una sección receptora, que permita cortar dos surcos de caña, a partir de la cosechadora de caña KTP-2M, de modo, que se puedan cosechar los campos con un marco de plantación de (0.80 - 1.40) m.

2.1. Determinación de los valores óptimos de las Características Técnicas Básicas.

Para determinar Características Técnicas Básicas es necesario plantear el modelo matemático conceptual o las expresiones matemáticas que contengan las mismas.

¿Por qué se debe diseñar una cosechadora que corte dos surcos?

En primer lugar, porque al cosechar dos surcos simultáneamente, el tiempo de maniobras (virajes y desplazamientos) se reduce a la mitad y esta ganancia de tiempo se incrementa y por tanto existirá un mejor aprovechamiento del tiempo útil de trabajo, como se muestra a continuación:

2.1.1. Estructura del tiempo.

$$T_T = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 + T_6 + T_7 \quad (1)$$

Donde:

T_T : Tiempo Total de trabajo.

T_1 : tiempo principal de trabajo

T_2 : tiempo de maniobras (virajes y desplazamientos).

T_3 : tiempo de mantenimiento técnico diario.

T_4 : tiempo para la eliminación de averías técnicas y tecnológicas.

T_5 : tiempo de descanso y necesidades personales del operario.

T_6 : tiempo de traslado en vacío al área de corte.

T_7 : tiempo de parada por causas organizativas y meteorológicas.

Reagrupando convenientemente.

$$T_1 + T_2 + T_6 = TT - (T_3 + T_4 + T_5 + T_7) \quad (2)$$

Si denominamos la suma de T_3, T_4, T_5 y T_7 , como los tiempos perdidos (T_p), entonces se puede plantear:

$$T_p = (T_3 + T_4 + T_5 + T_7) \quad (3)$$

$$T_1 + T_2 + T_6 = TT - T_p \quad (4)$$

Al reagrupar se obtiene:

$$T_1 = TT - T_p - T_2 - T_6 \quad (5)$$

De la expresión (5) se deduce: Que para hacer crecer el tiempo principal de trabajo (T_1), es necesario disminuir, los tiempos de viraje en la cabeza de los campos (T_2), los tiempos de traslado de la cosechadora a las áreas de corte (T_6) y los tiempos perdidos (T_p). Al cosechar dos surcos simultáneamente, el tiempo (T_2) se reduce a la mitad y esta ganancia de tiempo se incrementa a (T_1). Lo anterior es uno de los fundamentos, del porque se debe diseñar una cosechadora para cortar dos surcos.

Como el tiempo de viraje sumario se puede plantear como:

$$T_2 = T_{2unitario} \cdot N_s \quad (6)$$

Donde :

N_s : es el número de surcos

Si una cosechadora corta dos surcos, al analizar la expresión (4) y (5) se comprende, que girará la mitad de las veces, y por tanto existirá un mejor aprovechamiento del tiempo útil de trabajo, esto fundamenta el porqué, se considera el número de surcos a cosechar como una característica técnica básica.

2.1.2. Productividad de la Cosechadora de Caña.

La expresión general, para determinar la productividad de una combinada está dada por la masa de caña cosechada, en una unidad de tiempo dado. Basado en lo anteriormente expuesto, se conoce que el rendimiento de la masa vegetal para una velocidad dada, refleja la intensidad de suministro a la máquina de esta, determinando el grado de carga del motor (Véase Iglesias, (1974); Jrobostov, (1977); Jiménez, (2007)

La productividad de la combinada es igual a:

$$W = B_k \cdot V_k \cdot R_a \cdot \tau_k \quad (kg / s) \quad (7)$$

Donde:

B_k - ancho de trabajo de la combinada m.

V_k - velocidad de la cosechadora, m/s.

R_a - rendimiento agrícola del campo, kg/m^2 .

τ_k - coeficiente de utilización del tiempo de explotación de la combinada = 0.66. **[10]**

El doctor Neeldes Matos, demostró que la productividad de la cosechadora KTP-2M, es una función lineal del rendimiento agrícola de los campos cañeros:

$$W = 6.11393 + 0.0158747 \cdot R_a \quad (kg / s) \quad (8)$$

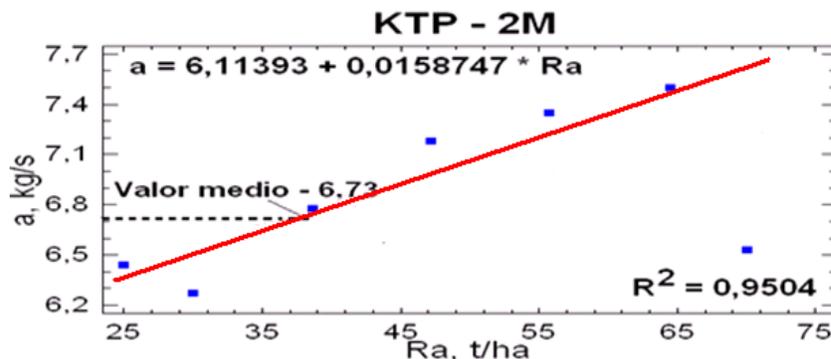


Gráfico 2. Gráfica de la ecuación de regresión de la productividad de la cosechadora de caña KTP-2M. Fuente: Matos N. (2012).

Al cosechar dos surcos, en el marco de plantación de (0.80-1.40) m, los rendimientos agrícolas se incrementan en un 45%, por tanto, si se expresa dicho incremento mediante un coeficiente, se puede plantear:

$$Ra_{2s} = \xi_{Ra} \cdot Ra \quad (9)$$

Donde:

Ra_{2s} : Rendimiento agrícola del campo, sembrado con el marco de plantación de (0.80-1.40) m.

ξ_{Ra} : Coeficiente que considera el incremento agrícola.

Al sustituir la expresión (8) en (6) se determina la expresión paramétrica de la productividad de la cosechadora KTP-2M para cortar dos surcos.

$$W_{2s} = B_k \cdot V_k \cdot \xi_{Ra} \cdot R_a \cdot \tau_k \quad (kg/s) \quad (10)$$

Del análisis de la expresión (6) y (9) se infiere que:

$$W_{2s} = \xi_{Ra} \cdot W \quad (11)$$

La razón del incremento de la productividad, se expresa mediante el cociente de las productividades:

$$\xi\omega = \frac{W_{2s}}{W} \quad (12)$$

Al sustituir (10) en (11):

$$\xi\omega = \xi_{Ra} \quad (13)$$

Las expresiones (10) y (12) fundamentan que al diseñar una máquina que corte dos surcos, no solo permite que se puedan sembrar campos con mayor densidad de plantación, que conducen a incrementar los rendimientos agrícolas, sino, que además, se logra una máquina con mayor productividad y la razón del incremento de

la productividad está dado por el coeficiente de incremento de los rendimientos agrícolas.

2.2 Requerimientos funcionales del diseño propuesto para la Sección Receptora de una cosechadora, destinada a la KTP-2M

La Propuesta de diseño de la Sección Receptora de la Cosechadora de caña que pique dos surcos, destinada a la KTP-2M, tendrá como requerimientos funcionales los siguientes:

1. Tener un frente de corte máximo de 1.5 m, que le permita cosechar dos surcos de caña, plantados en el marco de plantación de (0.80- 1.40) m.
2. Utilizar un reductor de engranes (corte base) para la transmisión simultánea del torque de los discos de corte, la potencia será transmitida por el Hidromotor M-51.
3. Utilizar dos discos de corte con diámetro de 990 mm y 12 cuchillas cada uno, estas, del mismo material y tamaño que las actuales, lo cual permitirá una mayor longitud de avance en el corte por revolución.
4. Se utilizarán dos sinfines dobles (divisores de líneas) para alinear las cañas enredadas y encamadas.
5. Utilizar un circuito hidráulico que será común para mover los sinfines, y hacer girar la caja reductora de engranes de los discos de corte y el tambor levantador.

Para lograr estos requerimientos funcionales, se les variará a la sección receptora de la máquina, las siguientes piezas:

KTP-1.02.877

KTP-1.02.858

KTP-1.02.862

KTP-3S.02.4031

KTP-3S.02.4029

KTP-1.02.859

En esta propuesta de diseño de la Sección Receptora de la KTP-2M, se les llamará KTP-2S a la sección receptora modificada, la cual incluye las siguientes piezas:

- KTP-2S.02.002 (Ver Figura 26, Plano 1)
- KTP-2S.02.004 (Ver Figura 27, Plano 2)
- KTP-2S.02.005 (Ver Figura 28, Plano 3)
- KTP-2S.02.006 (Ver Figura 29, Plano 4)
- KTP-2S.02.007 (Ver Figura 30, Plano 5)
- KTP-2S.02.011 (Ver Figura 31, Plano 6)
- KTP-2S.02.858 (Ver Figura 32, Plano 7)
- KTP-2S.02.877 (Ver Figura 33, Plano 8)
- KTP-2S.02.2170 (Ver Figura 34, Plano 9)

2.3 Características técnicas básicas.

En este epígrafe se darán a conocer las características técnicas básicas que deberá tener la Sección Receptora para cortar dos surcos simultáneamente, destinada a la cosechadora de caña KTP-2M

Requisitos Agros técnicos.

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 dos surcos en cada pase de trabajo.
3. Cosechar en un rango de rendimiento agrícola desde 60 hasta 200 ton/Ha.
4. El rango de rendimiento agrícola donde debe de cosechar con máxima eficiencia estará comprendido entre 100 a 150 Ton /Ha.
5. Debe ser capaz de cortar y recolectar la caña con nivel del suelo desde cero hasta surcos de 8 cm de altura con el mínimo de pérdidas de cosecha.
6. La cosecha la realizará en campos con distancias entre surcos de (0.80-1.40) m.

7. La altura de corte que garantizará la cosechadora debe encontrarse entre - 2 a 0 cm con respecto al nivel superior o cresta del surco, con un mínimo de pérdidas de un 5%.

2.4. Determinación del límite al que tienden las características técnicas básicas.

Se ha deducido que las características técnicas básicas de la sección receptora son: el ancho de corte, el número de cuchillas y las revoluciones a las que giran los discos de corte. Para lograr incrementar la productividad de la cosechadora:

1. El ancho de labor tiende a incrementarse hasta 2.40 m, pero, está restringido por las condiciones del desarrollo tecnológico actual, aunque en Brasil se cortan tres surcos, en Cuba los estudios en marco de plantación con tres surcos aún, no están suficientemente documentados.
2. El número de cuchillas deberá incrementarse, porque para un mismo valor de revoluciones del disco de corte, permite una mayor velocidad de traslación dentro del campo.
3. El número de revoluciones debe permitir que la velocidad tangencial (de corte), tienda a mantenerse constante, alrededor del valor de la velocidad óptima del corte del trozo de caña.

El alcance de esta investigación no abarca la determinación de los valores óptimos de las características técnicas básicas.

2.5. Elaboración de la Proposición Técnica del Diseño de la sección receptora en tres dimensiones.

En este epígrafe se describe como se llega a la solución propuesta de diseño, para ello se analizara cada uno de los requerimientos funcionales.

1) Frente de corte máximo de 1.5 m.

Al plantar dos surcos separados a 0.80 m, como el ancho de los plántones llega hasta un valor de 0.60 m, se deberá garantizar un ancho de corte de 1.50 m para dejar un margen de seguridad de 0.05 m a cada lado.

La cosechadora KTP-1 y KTP-2M utilizan discos con un diámetro de 0.99 m y trabajan con 6 cuchillas cada uno, por lo que el plantón se corta bajo la acción de 12 cuchillas. Del análisis anterior se decidió utilizar los discos de corte de la cosechadora KTP-1, código KTP-1 01.422 y añadirle doce segmentos de corte KTP-2S.01. 437, que se caracterizan por tener el filo inclinado con un radio de 30 mm, se espera que de este modo se logre un corte más uniforme.

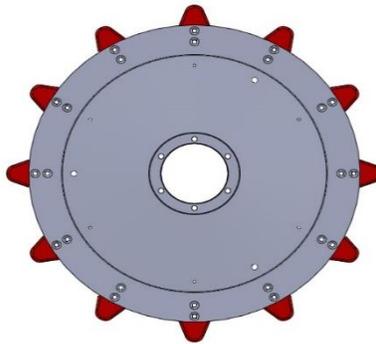


Figura 19. Disco de corte KTP-2S 01.160.

En la fábrica “60 Aniversario de la Revolución de Octubre” existe la experiencia de secciones de corte más anchas, tal es el caso de la cosechadora de sorgo, que se muestra en la (Figura 20).



Figura 20. Cosechadora de sorgo. Fuente “Fábrica 60 Aniversario de la Revolución de Octubre”.

Finalmente se decide ampliar la sección de corte y utilizar dos discos con 12 cuchillas cada uno y se obtiene un frente de corte con un ancho máximo de 1.5 m.

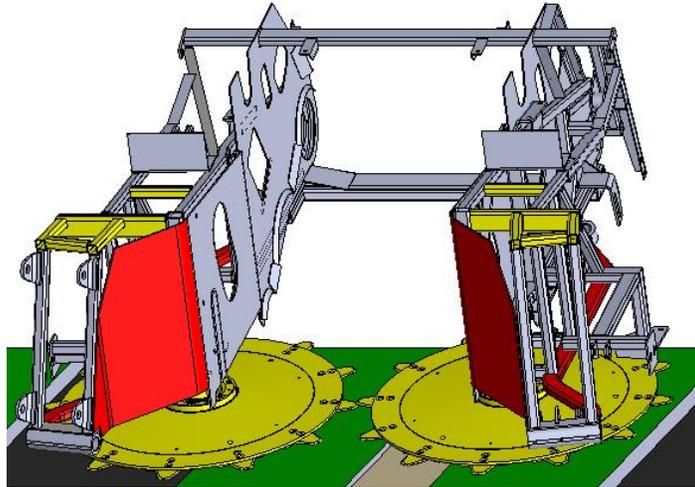


Figura 21. Frente de corte propuesto con un ancho de 1.5 m.

La solución propuesta elimina los inconvenientes de las patentes DE4015894 y US5303533, al poder cosechar todo el frente de corte.

2) Reductor de engranes para la transmisión simultánea del torque a los discos de corte.

La transmisión del torque a los discos de corte se ha realizado por diferentes métodos, después de estudiar las cosechadoras existentes en el país y analizar las algunas patentes, se propone clasificarlos en tres grupos:

- Mecánica, el torque se transmite desde el motor de combustión interna, mediante un esquema cinemático complejo, a los reductores cónicos independientes, que se sitúan en la parte superior de la sección de corte y hacia la parte inferior, donde están los discos de corte mediante cardanes. Los discos de corte reciben se encuentra rígidamente anclados al bastidor tubular de la sección de corte. Tiene como inconvenientes que es necesario utilizar una transmisión por cadena muy compleja, y los discos no trabajan de forma sincronizada.
- Transmisión hidrostática, se coloca un hidromotor en una base inmediatamente sobre el soporte que fija los discos de corte a la estructura de

la sección receptora, esto representa como ventaja de que se simplifica el esquema cinemático de la transmisión, pero, continúan trabajando los discos de modo independiente y se necesitan dos circuitos hidráulicos.

- Sistema de corte base, es un reductor de engranes cilíndricos, que en la parte superior, en uno de sus extremos, posee un hidromotor, que permite como ventaja simplificar el esquema hidráulico, además, la transmisión por engranes permite que ambos discos de corte trabajen sincronizadamente lo que permite un mejor trabajo de corte. El inconveniente fundamental es que todos los impactos que reciben los discos se transmiten a las cajas reductoras, esto ocasiona que en la zafra recién concluida fue necesario reponer 16 de estos conjuntos, lo que representó el 10 % del total.

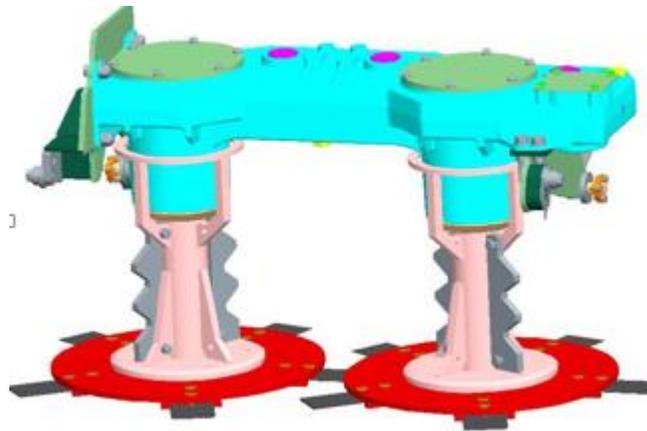


Figura 22. Sistema de corte base CASE. Catálogo serie 8000.

Después de analizar el modo en que se transmite el momento torsor a los discos de corte, se decidió idear un nuevo concepto, que es utilizar una caja reductora, que va fija a la parte superior de la sección de corte, la cual debe transmitir el movimiento mediante cardanes a los discos de corte, que al igual que en los modelos KTP, ira atornillado al bastidor tubular de la sección de corte.

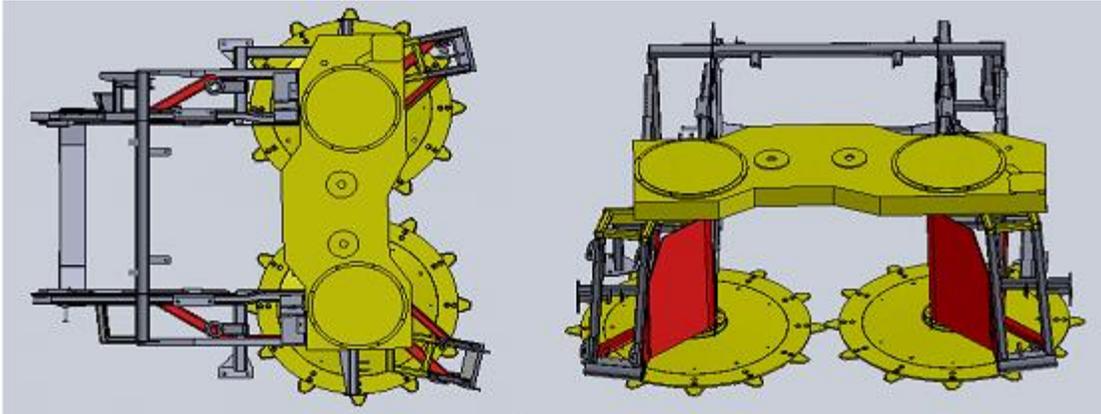


Figura 23. Vista superior y frontal de la caja reductora

De este modo se logra sincronizar los discos de corte durante su rotación, simplificar el esquema hidráulico y evitar que los esfuerzos de corte se transmitan a la caja reductora.

- 3)** Se utilizarán dos sinfines dobles (divisores de líneas) para alinear las cañas enredadas y encamadas.

Las cosechadoras KTP-2M utilizan un solo sinfín, porque los rendimientos de los campos cañeros en Cuba presentan una media nacional de 40 t/ha y las hileras de caña se encuentran separadas a 1.60 m, pero para las nuevas condiciones se esperan rendimientos cañeros que oscilen entre (100-120) t/ha. Por lo que se asume la solución que han dado otros países que tienen altos rendimientos por hectárea.

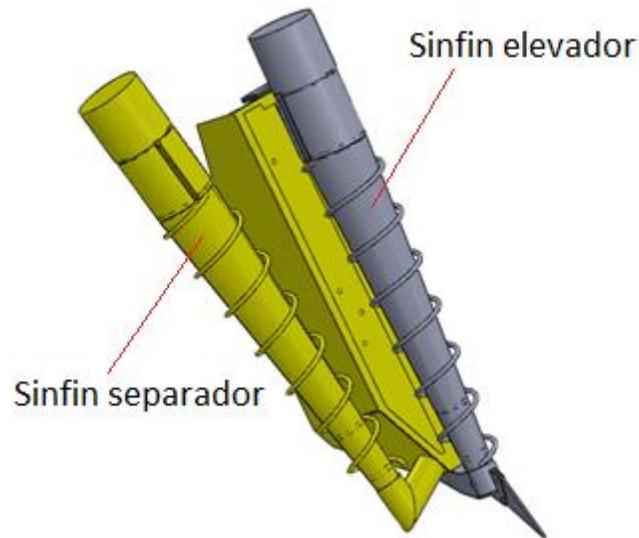


Figura 24. Bastidor de los sinfines.

El sinfín elevador levanta las hileras de caña y las direcciona hacia el centro de la máquina, el separador, gira en sentido contrario del elevador, y evita que la caña se enrede porque separa las cañas de la hilera que esta próxima a las que se están cortando.

De esta forma, al unir todos los elementos novedosos que se han descrito se llega a un concepto de sección receptora diferente al existente, que permite el corte de la caña en los marcos de plantación de **[(0.80-1.40); (0.70-1.40); (0.80-1.30); (0.70-1.40) y (1.60)]** m, que son los marcos de plantación que se están estudiando y generalizando por parte de los productores de caña más el marco tradicional, es decir, la máquina cosecha indistintamente en un surco o en dos surco, según sea la opción de plantación que eligió el agricultor. Ver Figura 25.

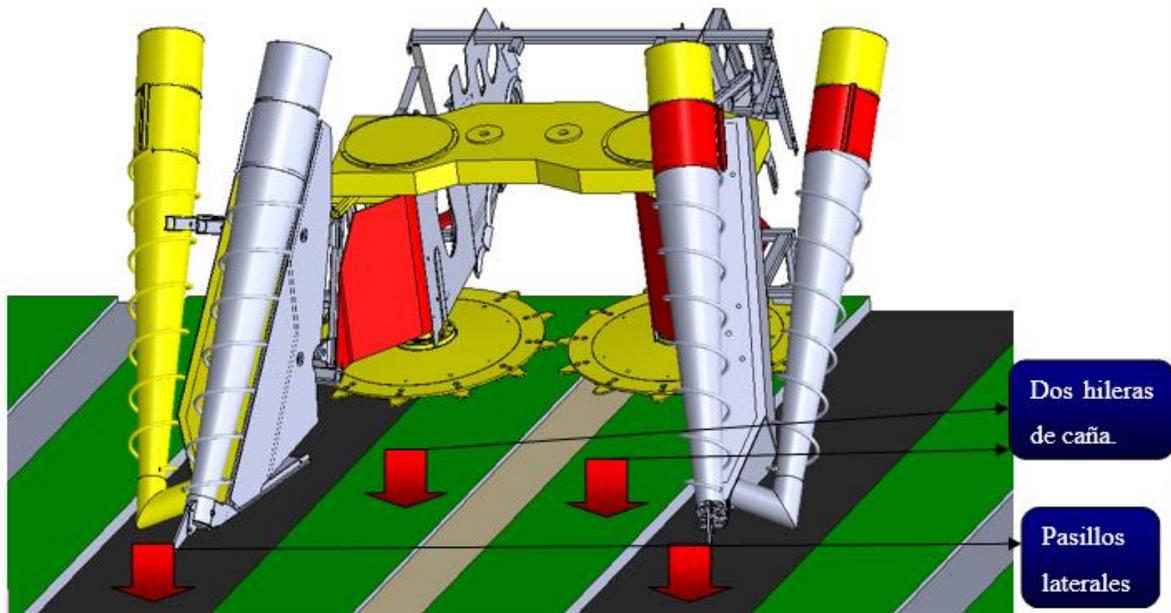


Figura 25. Esquema que representa la proposición técnica de una sección receptora para cortar dos surcos de caña.

2.6. Impactos que puede genera el diseño propuesto:

A continuación se exponen los impactos que puede generar esta investigación en términos económicos, medioambientales y como aporte a la patria.

Impacto económico.

Para hacer el balance económico de esta investigación, se parte de esta interrogante:

¿Cómo disminuir el gasto específico de una cosechadora de caña?

Para dar respuesta a la anterior interrogante, se hará un análisis de todos los gastos que entran en el proceso de cosecha de la caña. Antes, se definirán algunos conceptos importantes.

En este trabajo de diploma, **se denomina KTP-2S**, a la futura cosechadora KTP-2M con la sección receptora modificada para cortar dos surcos.

Gasto específico: [$\zeta_{G \text{ específico}}$], es la cantidad de dinero gastada, para cosechar una tonelada de caña (\$/t).

$$\zeta_{ge} = \frac{\sum_{g=i}^{g=n} G_i}{T_{cc}} \quad (\$/t) \quad (13)$$

Donde:

G_i : Partidas de gastos, que se mencionan a continuación (\$).

T_{cc} : Total de caña cosechada (t).

Costos: son aquellas partidas de gastos relacionadas directamente con el proceso productivo.

Todos los costos son gastos pero no todos los gastos son costos. Las partidas de gastos que se evalúan para conformar los costos son:

Costos de salario: (C_{sal} (\$))

Costos de combustible: (C_{com} (\$/l))

Costos de lubricantes: (C_{lub} (\$/l))

Otros Gastos:

Gastos de mantenimiento. (G_{man} (\$))

Gastos de almacenaje. (G_{alma} (\$))

Gastos administrativos. (G_{admi} (\$))

Gasto de depreciación. (G_{dep} (\$ por año))

La expresión del gasto específico es:

Para la cosechadora KTP-2M:

$$\zeta_{ge_{2M}} = \frac{C_{sal} + C_{com} + C_{lub} + G_{mant} + G_{alma} + G_{admi} + G_{depr}}{T_{cc_{2M}}} \quad (\$/t) \quad (14)$$

Para la cosechadora KTP-2S, con sección receptora capaz de cortar dos surcos:

$$\xi_{ge_{2S}} = \frac{C_{sal} + C_{com} + C_{lub} + G_{mant} + G_{alma} + G_{admi} + G_{depr}}{T_{cc_{2S}}} (\$/t) \quad (15)$$

Total de caña cosechada con la sección receptora de la cosechadora KTP-2S:

$$T_{cc_{2S}} = \xi_{\omega} \cdot T_{cc_{2M}} (t) \quad (16)$$

Donde:

ξ_{ω} : es el incremento de la productividad de la cosechadora al cortar dos surcos.

En ambos casos los costos de salario, los costos de lubricante, los gastos de mantenimiento, los de almacenaje, de administración y de depreciación se pueden considerar constantes y su sumatoria en este trabajo se definirá como gastos comparativos constantes (G_{comp}).

Al sustituir los gastos comparativos y la expresión (16) en (14) y (15) respectivamente se obtiene:

Para la cosechadora KTP-2M:

$$\xi_{ge_{2M}} = \frac{C_{com_{2M}}}{T_{cc_{2M}}} + \frac{G_{comp}}{T_{cc_{2M}}} (\$/t) \quad (17)$$

Para la cosechadora KTP-2S, con sección receptora capaz de cortar dos surcos:

$$\xi_{ge_{2S}} = \frac{1}{\xi_{\omega}} \cdot \frac{C_{com_{2S}}}{T_{cc_{2M}}} + \frac{1}{\xi_{\omega}} \cdot \frac{G_{comp}}{T_{cc_{2M}}} (\$/t) \quad (18)$$

Como el consumo de combustible debe de incrementarse en la cosechadora de dos surcos, se puede plantear:

$$C_{com_{2S}} = \xi_{cc} \cdot C_{com_{2M}} \text{ (\$)} \quad (19)$$

Se sustituye (19) en (18):

$$\zeta_{ge_{2S}} = \frac{1}{\xi_w} \cdot \left(\frac{\xi_{cc} \cdot C_{com_{2M}} + G_{comp}}{T_{cc_{2M}}} \right) \text{ (\$/t)} \quad (20)$$

Para analizar el ahorro específico con la cosechadora de doble surco, se le resta a la expresión (17), la (20):

$$\zeta_{ge_{2M}} - \zeta_{ge_{2S}} = \frac{C_{com_{2M}}}{T_{cc_{2M}}} + \frac{G_{comp}}{T_{cc_{2M}}} - \frac{\xi_{cc} \cdot C_{com_{2M}}}{\xi_w \cdot T_{cc_{2M}}} - \frac{G_{comp}}{\xi_w \cdot T_{cc_{2M}}} \quad (21)$$

Se agrupan términos semejantes:

$$\zeta_{ge_{2M}} - \zeta_{ge_{2S}} = \frac{C_{com_{2M}}}{T_{cc_{2M}}} - \frac{\xi_{cc} \cdot C_{com_{2M}}}{\xi_w \cdot T_{cc_{2M}}} + \frac{G_{comp}}{T_{cc_{2M}}} - \frac{G_{comp}}{\xi_w \cdot T_{cc_{2M}}} \quad (22)$$

$$\zeta_{ge_{2M}} - \zeta_{ge_{2S}} = \frac{\xi_w \cdot C_{com_{2M}} - \xi_{cc} \cdot C_{com_{2M}}}{\xi_w \cdot T_{cc_{2M}}} + \frac{\xi_w \cdot G_{comp} - G_{comp}}{\xi_w \cdot T_{cc_{2M}}} \quad (23)$$

$$\zeta_{ge_{2M}} - \zeta_{ge_{2S}} = \frac{C_{com_{2M}} \cdot (\xi_w - \xi_{cc})}{\xi_w \cdot T_{cc_{2M}}} + \frac{G_{comp} (\xi_w - 1)}{\xi_w \cdot T_{cc_{2M}}} \quad (24)$$

$$\zeta_{ge_{2M}} - \zeta_{ge_{2S}} = \frac{C_{com_{2M}} \cdot (\xi_w - \xi_{cc}) + G_{comp} (\xi_w - 1)}{\xi_w \cdot T_{cc_{2M}}} \quad (25)$$

La expresión (25) permite determinar cuánto se ahorra por cada tonelada de caña cosechada, debe observarse que el valor del denominador crece en la misma medida que se incrementa la productividad porque las expresiones $(\xi_w - \xi_{cc})$ y $(\xi_w - 1)$, son menores que cero, por tanto, existirá un ahorro.

Impacto Ambiental.

Según lo establecido por el Ministerio de Ciencias, Tecnologías y Medio Ambiente, “Impacto Ambiental” es todo aquello que modifica desde el exterior el equilibrio dinámico inicial de un sistema natural. Cuanto más fuerte sea el impacto, mayor será la distancia del nuevo estado, con respecto a la situación inicial y mayor será el tiempo necesario para recuperarse al cesar el mismo”.

De acuerdo, con lo anteriormente expuesto, el diseño propuesto en esta investigación puede tener un importante aporte al cuidado y preservación del medio ambiente, ya que: con las modificaciones planteadas a la Sección Receptora de la Cosechadora de caña KTP-2M para que corte dos surcos simultáneamente, mediante el marco de plantación (0.80-1.40) m, permitirán que la cosechadora y los otros equipos agrícolas transiten por los pasillos laterales, disminuyendo así, la compactación del terreno, donde se desarrolla el sistema radicular de la planta, permitirá aumentar los rendimientos por hectáreas en un 45%, y aumentar la productividad de la máquina, como se muestra en la ecuación (11).

Contribución a la Defensa de la Patria.

De igual forma, con este trabajo se contribuye a la defensa de la patria, ya que:

- Se contribuye al aseguramiento de la sostenibilidad en el orden económico, político y social.
- Además se realiza una propuesta con el objetivo de que la producción cañera trabaje con eficiencia y eficacia, atendiendo a que:
 - Se le realizaron modificaciones a la sección receptora de la cosechadora de caña KTP-2M para que corte dos surcos simultáneamente, lo que traerá consigo, un aumento de la productividad de la misma, como se muestra en la ecuación (11),
 - Se propuso el marco de plantación (0.80-1.40) m, el cual permitirá aumentar los rendimientos por hectáreas en un 45%, con él, se logra un mejor aprovechamiento de la semilla, al eliminarse la competencia por los nutrientes, el cierre del campo se logra con más de 60 días de antelación y se consigue

que la cosechadora y todos los otros equipos transiten por los pasillos laterales disminuyendo así la compactación que ejercen los mismos sobre el sistema radicular donde se desarrolla la planta.

En general, el fin último, de la propuesta de este diseño es que se incremente la capacidad y validez de la producción cañera, para obrar y lograr una mayor eficiencia económica, con lo cual, se estará contribuyendo con la defensa de la Patria. Sobre todo, en los momentos actuales, cuando el país requiere transformar su Modelo Económico, para lograr mayor sostenibilidad y seguir construyendo un socialismo próspero.

CONCLUSIONES

Luego de culminar este trabajo, se arribó a las siguientes conclusiones:

1. Se cumplió el objetivo general del mismo, porque, se logró elaborar la Proposición Técnica de una sección receptora para cortar dos surcos de caña, destinada a la cosechadora KTP-2M.
2. Para poder cortar dos surcos simultáneamente se propone utilizar doce cuchillas por disco, de modo que cada uno realice el corte de una hilera.
3. Para transmitir un torque mayor a los discos y realizar el corte simultáneo se propone, el diseño de un reductor de engranes cilíndricos, al que la potencia llega mediante el hidromotor (M-51) que se acopla a uno de sus extremos, y el movimiento se transmite a ambos discos por dos cardanes.
4. Para poder recepcionar un frente de corte mayor, se modifica el bastidor tubular del conjunto KTP-2M.2170, de forma tal que, la guía de los sinfines van por el centro de los pasillos de la plantación y en la zona frente a los discos de corte se logra un ancho de 1500 mm.
5. Se elaboraron los planos de las nuevas piezas para la Sección Receptora propuesta (KTP-2S).

RECOMENDACIONES

1. A partir de la actual proposición técnica del diseño de la sección receptora para cortar dos surcos de caña, se deberá elaborar el anteproyecto y la documentación técnica necesaria, que permita construir un prototipo, para ponerlo en explotación, con una cosechadora KTP-2M, en las zafras venideras.
2. Seguir la metodología utilizada en la presente tesis y diseñar una sección receptora para la cosechadora CCA-5000.
3. Determinar el modelo matemático para los indicadores de eficiencia de las cosechadoras de caña, de modo que se puedan determinar todas las características técnicas, que permitan diseñar una cosechadora de alta productividad.

BIBLIOGRAFÍA

- ÁLVAREZ V. (2011). Modelación Matemática para el Diseño de los Parámetros Básicos de los Conjuntos Tractivos del Transporte de la Cosecha Cañera. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas, Holguín, Cuba
- BATISTA AERLE Y COL (2005). "Valoración del diseño de la cosechadora cañera KTP-3000 S". Primera Reunión Nacional de Mejoramiento de Diseño Mecánico. ACIM. La Habana. UNAIC
- BITAL BUCETA, JOAQUÍN (1995). La mecanización en el cultivo de la caña de azúcar. En: *"Hechos e Ideas"*. Buenos Aires, Año XV, Tomo XXVII, N° 130, p-635.
- GARCÍA R, REGLA M, ALOMÁ J, GARCÍA M, ARZOLA N. (1994). Marcos estrechos de plantación, su incidencia en los rendimientos agrícolas. Ponencia 7mo. Expo Nacional BTJ Forjadores del Futuro. Expo-Cuba. La Habana.
- GARCÍA R. (1998). Determinación del espaciamiento óptimo entre surcos en las plantaciones cañeras y su interacción con otros factores Tesis presentada en opción al título de master en ciencias agrícolas. INICA.
- IGLESIAS, (1974); JROBOSTOV, (1977); JIMÉNEZ, (2007). Metodología para evaluar la productividad de una cosechadora de caña. *Artículo de Internet*. (Consultado el día 25 de marzo del 2015)
- LEBEQUE, F., (1996). "Programa y metodología para la realización de las pruebas al corta cogollo instalado en las cosechadoras cañeras KTP - 2 M". Holguín. CEDEMA
- LEBEQUE, FERNANDO Y PINO J., (2006). "Las evaluaciones a las cosechadoras cañeras". *Revista Mecanización y Desarrollo Cuba*.3 (2). p. 34-38
- LEYVA, L. (2013). "Estudio del marco de plantación a 1.50 m con doble surco a 0.40 m en el cultivo de la caña de azúcar con vista a incrementar el rendimiento agrícola en la UBPC "Unión Dos" de la UEB: Fernando de Dios". Tesis presentada en opción al título de Master en Ciencias Agrícolas. Báguano. Holguín
- MATOS N. (2012). Organización racional del complejo de máquinas en la cosecha – transporte - recepción de la caña de azúcar en la empresa azucarera "Argentina". Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas Agropecuarias, Mayabeque, Cuba
- MENDOZA. G., (2001). *"La fiabilidad en las máquinas agrícolas"*. Editorial Pueblo y Educación. La Habana, Cuba
- PCC (2011). *Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución*. La Habana, Cuba.
- PIERCE F. J., AND P. NOWAK., (2014). Aspects of precision agriculture. In: D. Spark (Ed) *Advance in Agronomy* 67, Academic Press. P- 1-85
- SÁNCHEZ, R. (2005). Ventajas del uso de la mecanización de la caña de azúcar. *Artículo de Internet*. Consultado el día 14 de marzo del 2015).
- RESOLUCIÓN 168 (1995). Ministerio de Ciencia y Tecnología, La Habana, Cuba

RODRÍGUEZ, I. (2005). “Curso de entrenamiento de postgrado, pruebas de máquinas agrícolas”. La Habana, Cuba

Sitios de Internet

<http://www.ecured.cu/index.php/cosechadoras> de caña existente en Cuba (Consultado el día 14 de marzo del 2015)

<http://www.eumed.net/tesis-doctorales/2014/jcpt/introducción.htm> (Consultado el día 14 de marzo del 2015)

Avances científicos técnicos en la práctica agrícola cañera cubana - *Monografias.com*; (Consultado el día 18 de marzo del 2015)

<http://www.ecured.cu/index.php/cosechadoras> de caña existente en Cuba (Consultado el día 14 de marzo del 2015)

ANEXO 1.



Figura 1. Máquina cosechadora cañera KTP – 1. Fuente: Fernández J. (2015).



Figura 2. Máquina cosechadora cañera KTP – 2. Fuente: Fernández, J (2015).



Figura 3. Sección Receptora de la Cosechadora de caña KTP-2M. **Fuente:** Fernández, J (2015)



Figura 4. Cosechadora de caña CCA-5000. **Fuente:** Arderí J. (2014).



Figura 5. Máquina cosechadora cañera CASE A8800. Fuente: CASE, (2014)

ANEXO 2.

**Aumentos de rendimiento de caña sobre el de 1.6m, en % ,
 de acuerdo a distancias entre surcos y cepas (cosechas)**

$$\% = 32.52 + 6.11 * d - 15.94 * d^2 - 0.56 * d * c \quad R^2 = 0.73$$

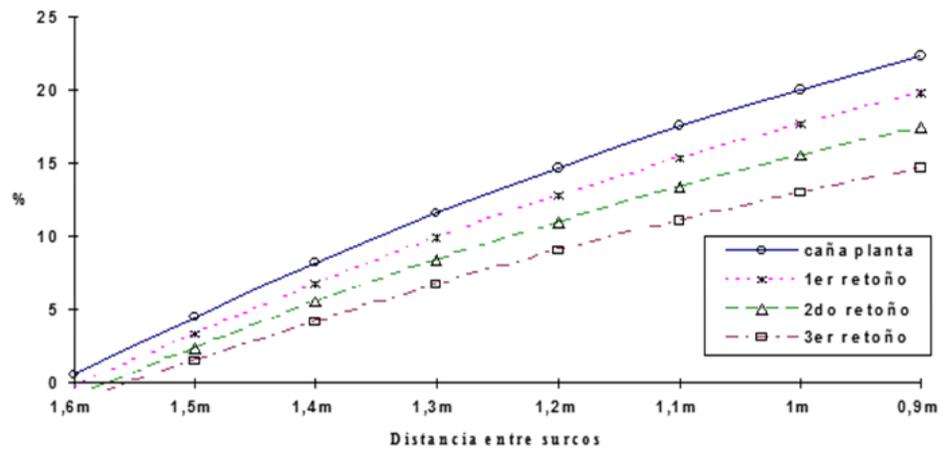


Gráfico 1. Aumento de los rendimientos cañeros. Fuente: Leyva L. (2013).

ANEXO 3.

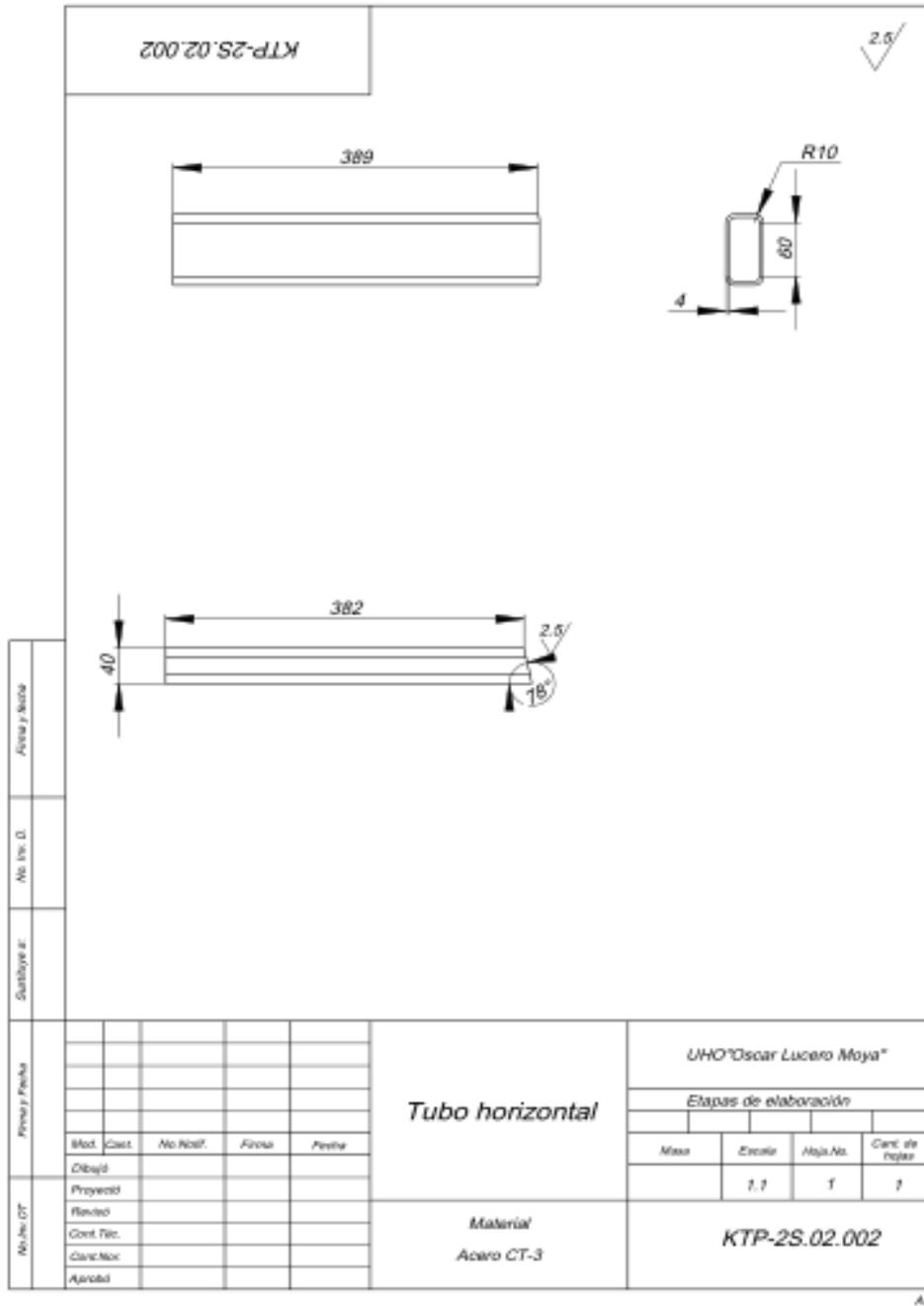


Figura 26. Plano 1 de la Sección Receptora de la KTP-2S.

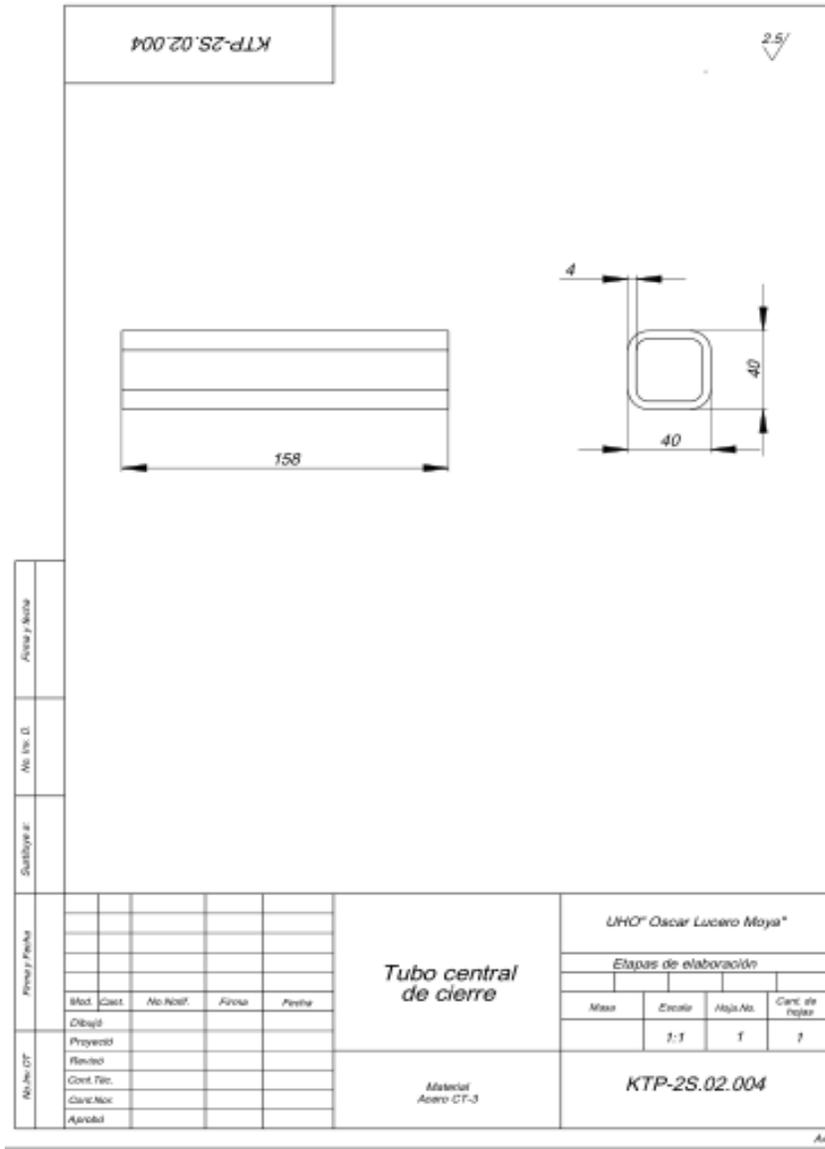


Figura 27. Plano 2 de la Sección Receptora de la KTP-2S.

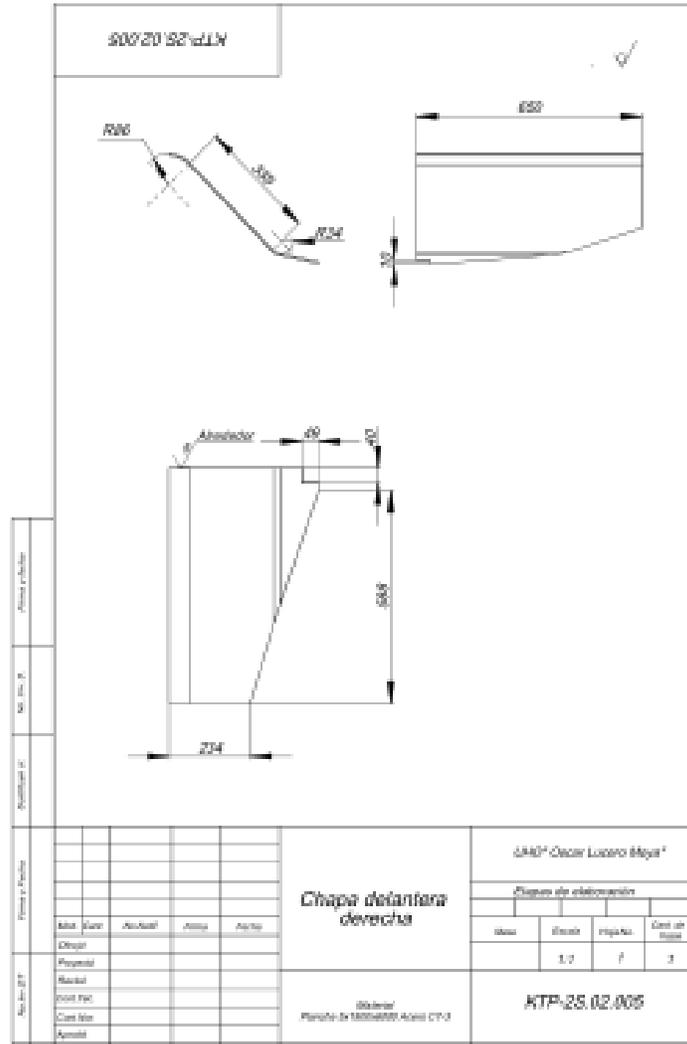


Figura 28. Plano 3 de la Sección Receptora de la KTP-2S.

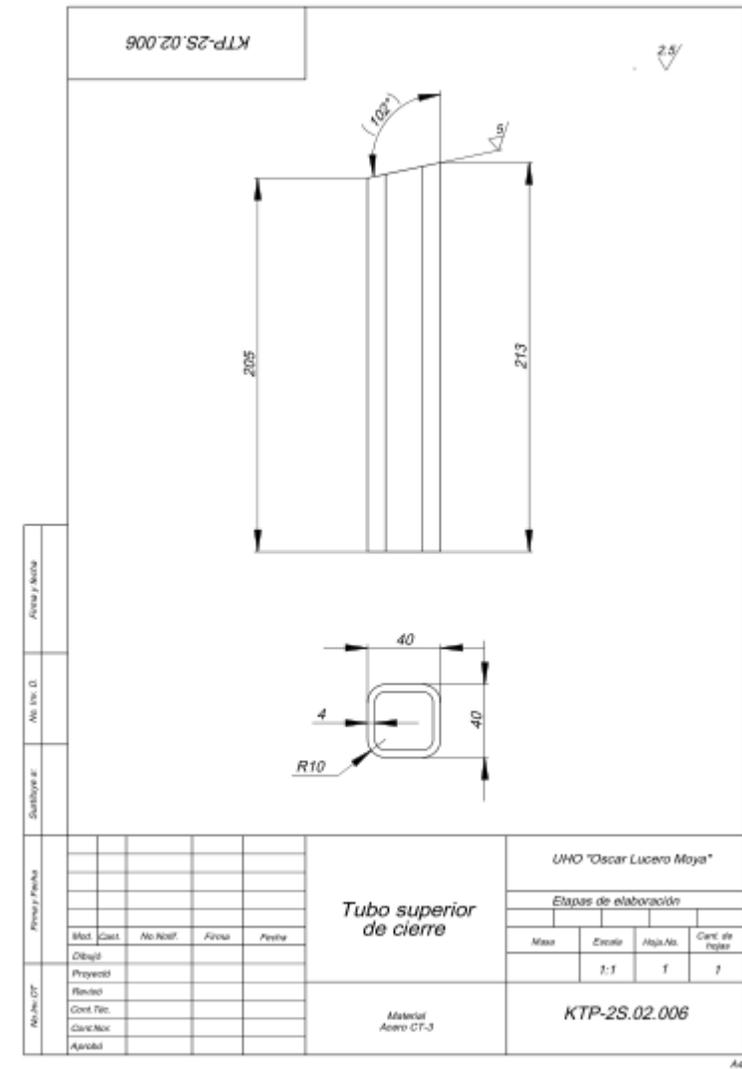


Figura 29. Plano 4 de la Sección Receptora de la KTP-2S.

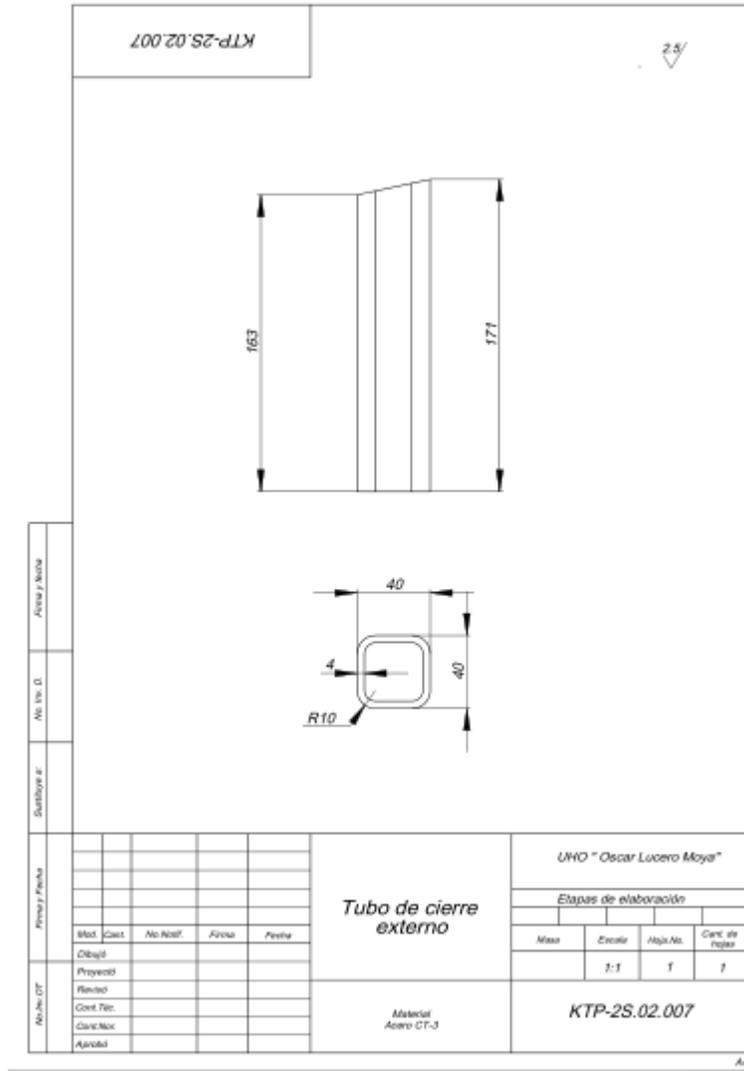


Figura 30. Plano 5 de la Sección Receptora de la KTP-2S.02.007.

KTP-2S.02.011		25	
No. Hoja No. de D. Estado Fecha y Firma	No. de D. Estado Fecha y Firma	No. de D. Estado Fecha y Firma	No. de D. Estado Fecha y Firma
Tubo transversal posterior		UHO "Oscar Lucero Moya" Etapas de elaboración	
Material Acero CT-3		KTP-2S.02.011	

Figura 31. Plano 6 de la Sección Receptora de la KTP-2S.02.007.

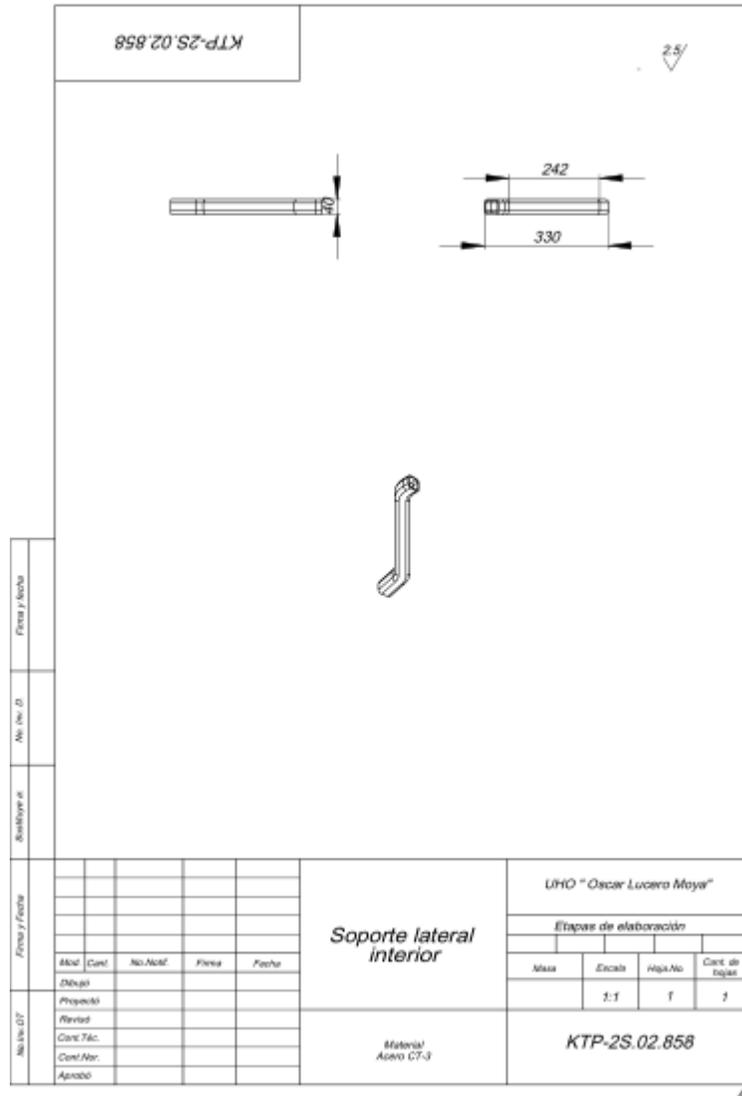


Figura 32. Plano 7 de la Sección Receptora de la KTP-2S.

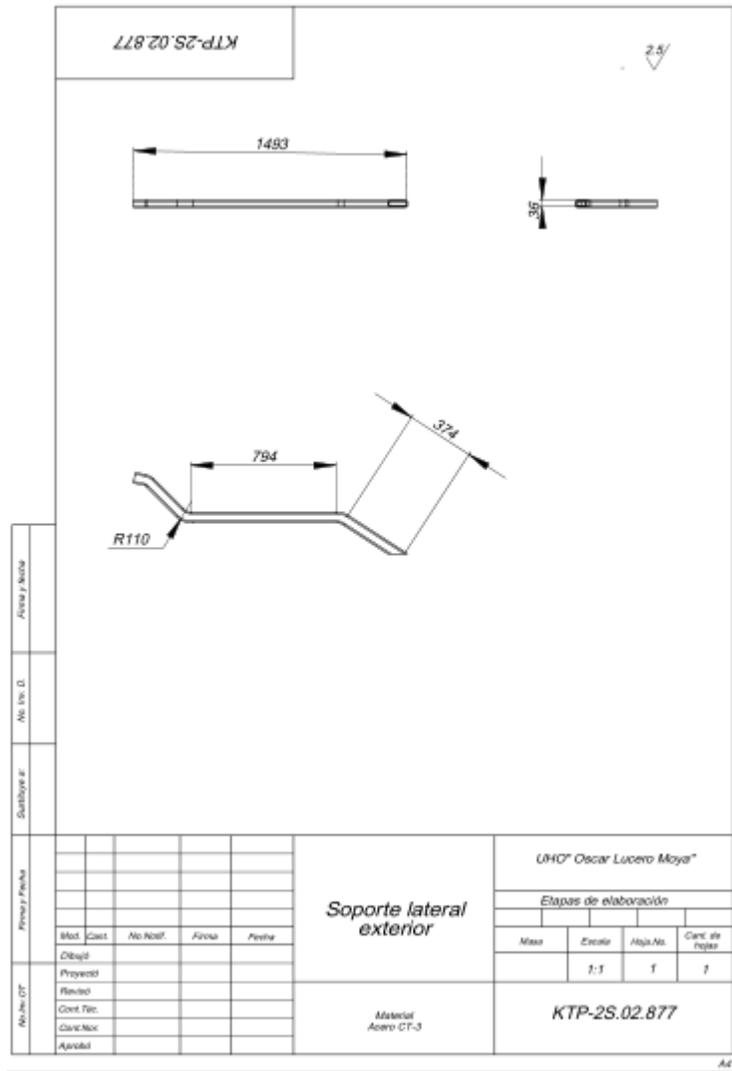


Figura 33. Plano 8 de la Sección Receptora de la KTP-2S.

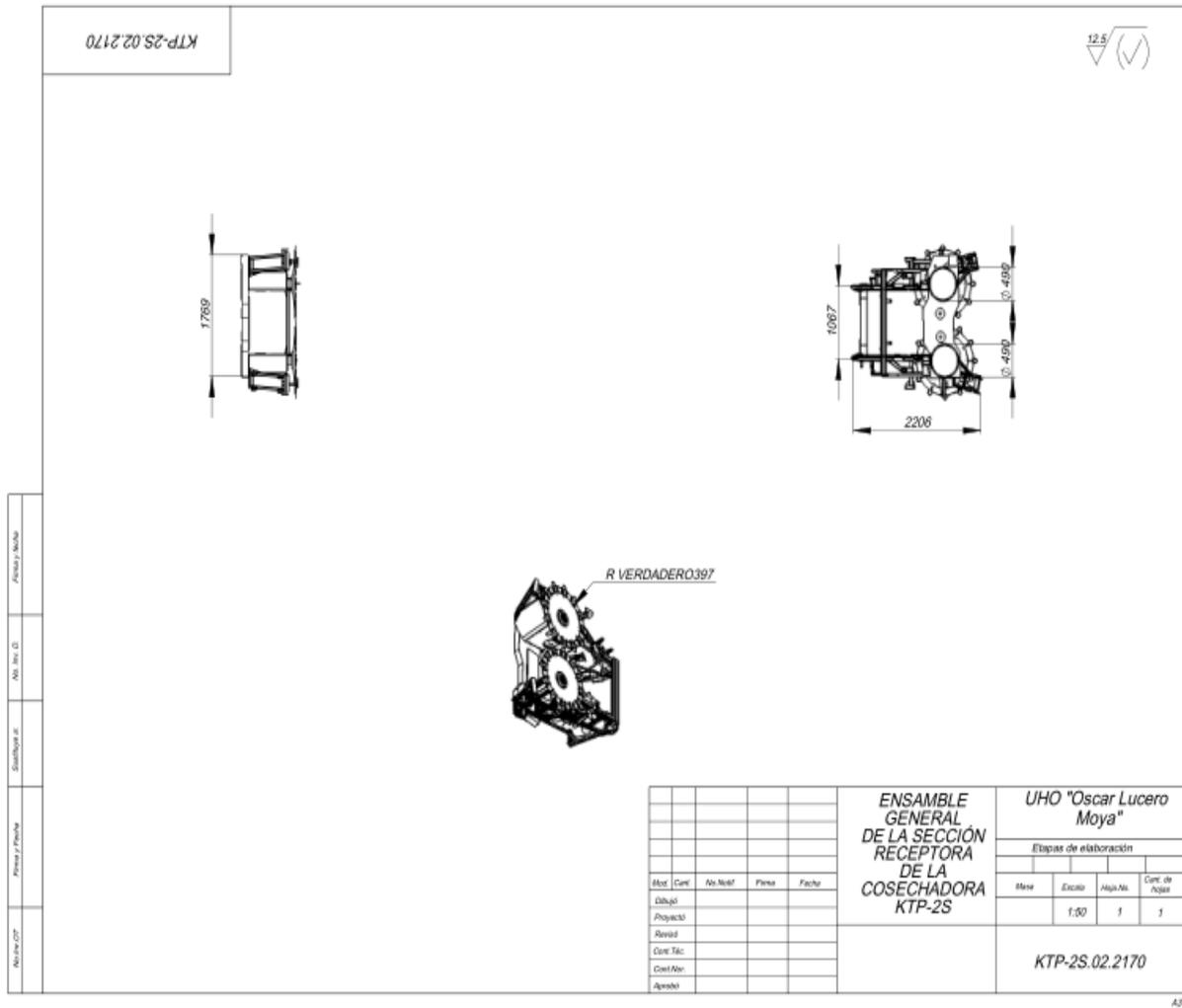


Figura 34. Plano 9 de la Sección Receptora de la KTP-2S.

ANEXO 4.

Tabla 2. Hoja de especificaciones técnicas.

Formato	Referencia	Denominación	Material
A4	KTP-2S.02.002	Tubo horizontal	Acero CT-3
A4	KTP-2S.02.004	Tubo central de cierre	Acero CT-3
A4	KTP-2S.02.005	Chapa delantera derecha	Acero CT-3
A4	KTP-2S.02.006	Tubo superior de cierre	Acero CT-3
A4	KTP-2S.02.007	Tubo de cierre externo	Acero CT-3
A4	KTP-2S.02.011	Tubo transversal posterior	Acero CT-3
A4	KTP-2S.02.858	Soporte lateral interior	Acero CT-3
A4	KTP-2S.02.877	Soporte lateral exterior	Acero CT-3
A3	KTP-2S.02.2170	Ensamble general de la SR de la KTP -2S	_____