

Capítulo 1 - INTRODUCCIÓN

El hombre, desde el inicio de su historia, ha intentado facilitar su trabajo con la ayuda de máquinas o herramientas

Debido al crecimiento de las fronteras agrícolas y al incremento en el volumen de producción nace la necesidad de aumentar la velocidad de trabajo. Con la aparición de las máquinas agrícolas se abrió un campo infinito de desarrollo de máquinas para cada función: labrar el suelo, siembra, cosecha, recolección y carga de productos, transporte, etc.

La moderna mecanización y automatización ha demostrado la necesidad de innovar la tecnología para mejorar la competitividad de los sistemas mediante la incorporación de nuevos equipos y el mejoramiento de otros ya conocidos y probados.

Esta tesis está inspirada en los trabajos realizados en el proyecto IBEROEKA, proyecto de cooperación internacional Hispano - Cubano que lleva por título: “Diseño de Máquinas Cosechadoras de Caña de Azúcar de Altas Prestaciones”. Acrónimo: CAIMANA, período 1999 al 2001.

Entre otros objetivos, este proyecto se enfrenta a dar soluciones tecnológicas al accionamiento de una serie de aperos que configuran aspectos funcionales de estas máquinas.

Entre estos aperos cabe destacar:

- 1) Mecanismo cargador frontal (tractor agrícola convencional, figuras 1.1)
- 2) Conjunto brazo – jaiba, de carga y descarga (Máquina alzadora de caña de azúcar, figura 1.2)
- 3) Mecanismo portador del sistema corta-cogollos (Máquina cosechadora combinada de caña de azúcar, figura 1.3)



Figura 1.1 – Cargadora frontal



Figura 1.2 – Alzadora de caña de azúcar



Figura 1.3 – Cosechadora de la caña de azúcar

1.1 Mecanismo cargadora frontal

Las cargadoras frontales son configuradas para levantar, mover, vaciar o situar las cargas a una cierta altura. El mecanismo de la cargadora frontal se puede instalar en un tractor convencional (figura 1.4).

En particular, un par de cilindros de elevación, accionados hidráulicamente, actúan sobre los brazos para levantarlo o bajarlo junto con un dispositivo terminal acoplado en el extremo exterior de los brazos que puede ser: cucharones, tenedor para manejo de fardos redondos, grapas para silos, etc. Un par de cilindros de inclinación / volteo son usados para posicionar el dispositivo terminal para recibir o vaciar la carga.

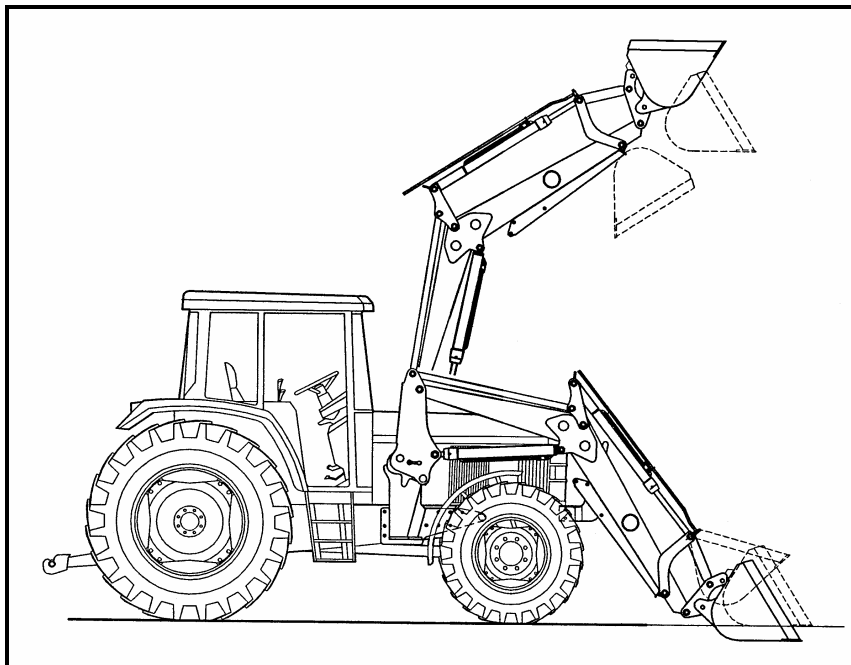


Figura 1.4 - Cargadora frontal acoplada a un tractor convencional

El mecanismo cargador tiene un conjunto de eslabones articulados con configuraciones tales que permiten disponer de unas buenas prestaciones: visibilidad, capacidad de carga, robustez, maniobrabilidad, estabilidad y facilidad de manejo para el operador.

El operador de la máquina (ver figura 1.4), una vez situado delante de la carga a levantar para luego transportarla, vaciarla o depositarla, acciona el cilindro de volteo que al extenderse, gira la pala o cualquier otro dispositivo hacia delante, de modo que ésta tome una posición paralela a la superficie del suelo.

El operario, para levantar la carga, debe accionar simultáneamente dos actuadores con el objetivo básico de que la carga que se encuentra en el interior de la pala no se caiga o se derrame, ni hacia atrás ni hacia delante.

Debido a lo anterior, el operador debe maniobrar de forma coordinada las palancas que controlan el movimiento de elevación, inclinación y volteo. Esta operación exige del operario un alto grado de habilidad, destreza y experiencia.

Una vez que el mecanismo de carga ha llegado a la altura de vaciado, el operador debe accionar el cilindro de inclinación / volteo para provocar el giro de la pala hacia delante y la carga cae por acción de la gravedad sobre el container de algún camión u otro lugar elegido para ello.

La demanda creciente de máquinas con mejores prestaciones hace necesario revisar estas máquinas en vías a aumentar su productividad, nivel de automatización, mejorar el entorno de la zona de trabajo y la calidad de vida a lo largo de la jornada laboral.

El número de movimientos independientes que se dota a una máquina depende de las funciones que debe realizar y su versatilidad. En general, cabe hablar de tres movimientos (ver figura 1.5)

- 1) Movimiento de “elevación”
- 2) Movimiento de “inclinación” del elemento terminal (por ejemplo una pala) y
- 3) Movimiento de “volteo” del elemento terminal o “vaciado”

θ_1 : ángulo de “inclinación”

β : ángulo de “volteo” o “vaciado”

γ : ángulo total de giro ($\gamma = \theta + \beta$)

Para $\theta = \beta = 0$, la pala se encuentra en posición horizontal, es decir, en posición de “nivelación” o inclinación nula.

La adecuada combinación de estos movimientos aplicada a una geometría determinada de barras rígidas, unidas entre si a través de pares cinemáticas, (generalmente pares de rotación R o prismáticos P), dotan a la máquina con la funcionalidad adecuada.

Cada uno de los cilindros óleo-hidráulicos debe encargarse de uno de los movimientos e, incluso, alguno puede encargarse de más de un movimiento. Es decir, los movimientos de inclinación y de volteo pueden ser independientes y gobernados por un cilindro cada uno, o pueden ser gobernados por un único cilindro.

En algunos casos, y cuando se desea alcanzar gran altura, el brazo que se gobierna por el cilindro de elevación suele ser un brazo telescópico y, por tanto, se necesitan dos cilindros como mínimo para conseguir la altura deseada, tal como se muestra en la figura 1.6.

Estas máquinas móviles, equipadas con determinados mecanismos de control acoplados a una pluralidad de circuitos hidráulicos, le permiten al operador de la máquina controlar los movimientos de los mecanismos del brazo, antebrazo y el sistema de acoplamientos.

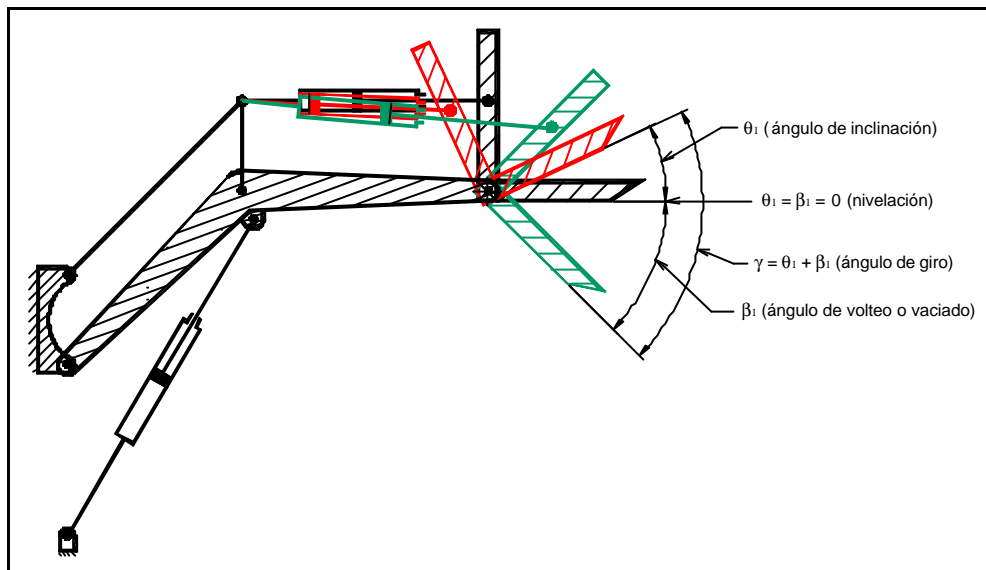


Figura 1.5 – Posiciones angulares del dispositivo terminal

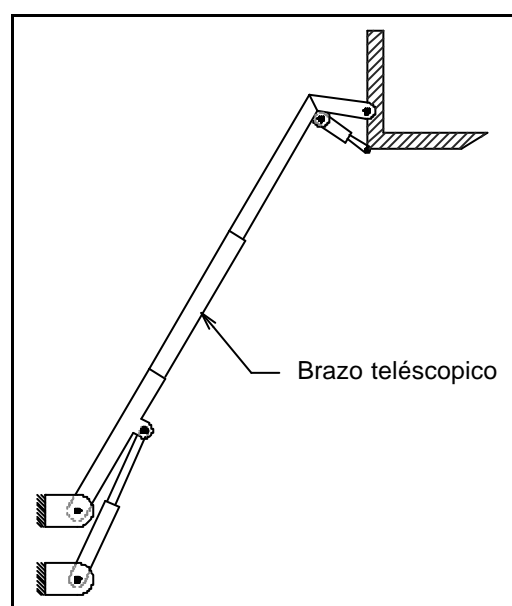


Figura 1.6 – Mecanismo de elevación con brazo telescópico

1.2 Alzadoras de caña de azúcar

Las alzadoras de caña de azúcar (figura 1.7), son una alternativa a las cosechadoras combinadas cuando la irregularidad del terreno, el peso de las cosechadoras o la capacidad adquisitiva del agricultor hacen inviable el cosechado automático. En este caso se recurre al corte manual con recolección mediante la alzadora.

Un cortador (machetero o zafrero) es capaz de llegar a cortar 7 toneladas de caña de azúcar diariamente, la cual es depositada en hileras y luego la máquina alzadora con la jaiba las atrapa, las levanta y las deposita en el camión o tractor contenedor. La alzadora es también útil para recoger el cogollo que tira la cosechadora combinada.

La jaiba completa está compuesta por: dos garras (fija y móvil), un cilindro situado en la parte media de las dos garras que se utiliza para la apertura y un cilindro a cada lado para el movimiento de rotación, además de uniones y elementos que permiten el correcto ensamblaje del conjunto.

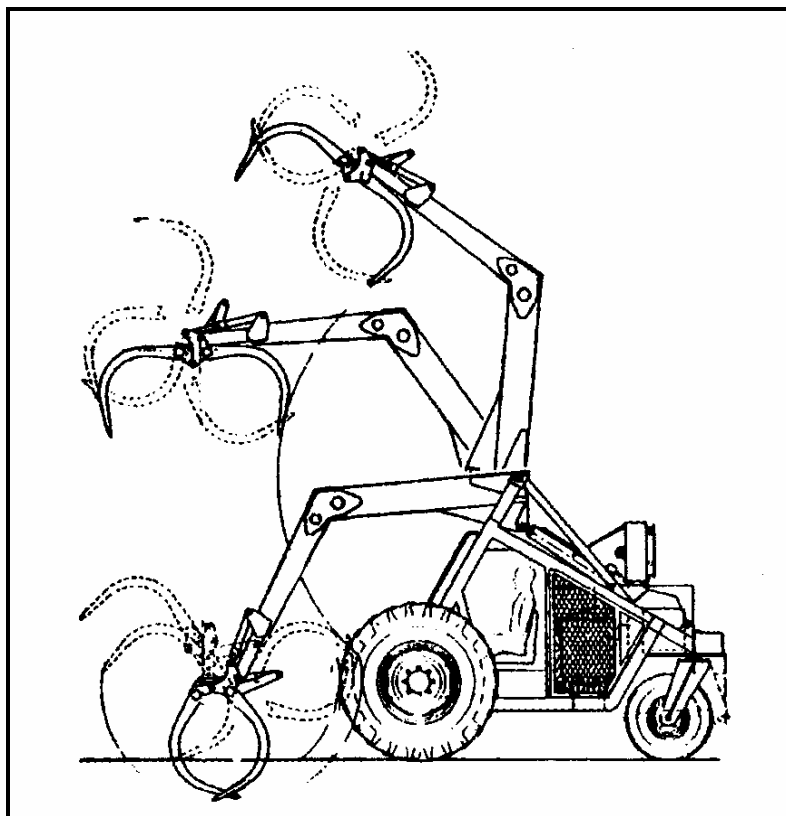


Figura 1.7 – Alzadora de caña de azúcar

1.3 Cosechadora combinada de caña de azúcar

La cosechadora de caña de azúcar (figura 1.8) se dedica a la recolección mecanizada de la caña de azúcar tanto verde como quemada en cualquier forma que esta se encuentre: levantada, revolcada, entrelazada, etc.

La cosechadora también denominada combinada porque la cosecha, la limpieza y el desmenuzamiento han sido integrados en una máquina completa.

El funcionamiento de la cosechadora de la caña de azúcar es el siguiente:

Una vez que la cosechadora es colocada en una fila de caña y comienza a avanzar, los dedos en forma de triángulos de chapa del corta-cogollos atraen los cogollos de la caña y las cuchillas del disco las corta y las expulsan hacia uno de los lados de la cosechadora.

Los zapatos del separador de caña (2), en la figura (1.8), regulan la anchura de operación y determinan la cantidad de caña a entrar en el interior de la cosechadora. Los rodillos cónicos sinfín (3) se encargan de introducir la caña hacia el interior de la garganta en donde un rodillo (4) doblega los tallos de la caña. Como la caña se encuentra enredada con los de la fila adyacente y dentro de la misma fila, un disco lateral cortador se encarga de cortar aquellas cañas con las que se encuentra a su paso.

Los cortadores de caña (5) siegan el tallo casi a ras del suelo, y un rodillo de tope (6) hace llegar la caña cortada a la zona de alimentación y ahí, gracias a las aletas que tiene incorporada, se deshacen de piedras y malezas que hayan entrado al interior de la cosechadora. La caña pasa luego a través de rodillos alimentadores (inferiores) y rodillos de presión (superiores) (7) en donde el material es comprimido y colocado en todo lo ancho de la zona de alimentación.

Después, la caña pasa a la zona de troceamientos donde dos cilindros picadores (8), cortan la caña en trozos longitudinales de aproximadamente unos 30 cm. Luego pasa a la zona de primera limpieza para que un ventilador – extractor (9) succione la hojarasca la cual, al ser más ligera en peso que los trozos de caña, las expulsa fuera de la máquina. Por efecto de la gravedad, los trozos de caña caen a la zona de transporte (10) y, a través de una cinta transportadora, son llevados a la parte superior en donde se encuentra una segunda zona de limpieza (11) para extraer el resto de la hojarasca que no haya sido extraída en la primera zona de limpieza.

Por último, la caña cae a un remolque de un camión o tractor que se desplaza paralelo a la cosechadora, para su posterior transporte al ingenio.

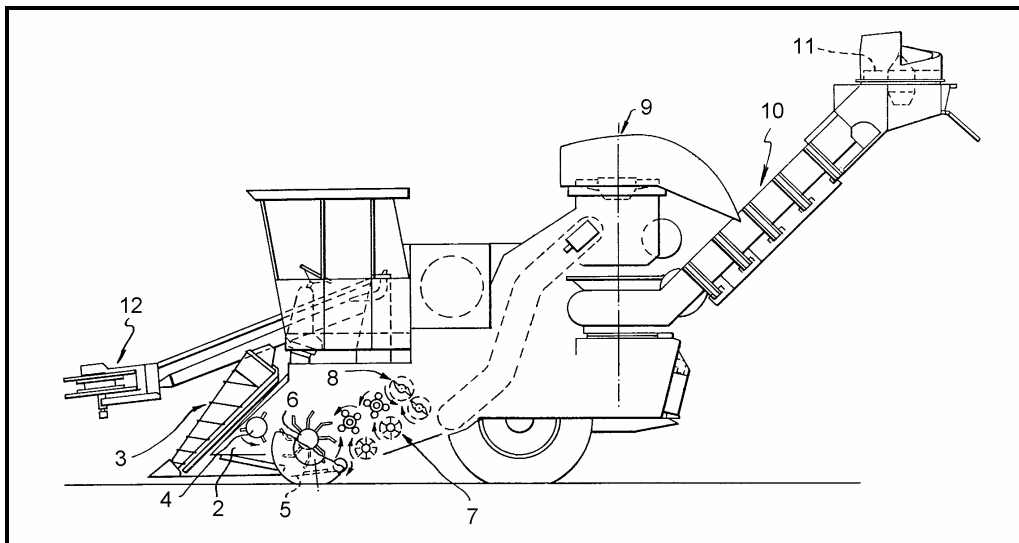


Figura 1.8 – Esquema de la cosechadora combinada de caña de azúcar.

Como resumen de esta introducción, en la tabla nº 1 se resumen los aspectos funcionales de los mecanismos citados, las soluciones dadas por la tecnología convencional con sus ventajas e inconvenientes y se apuntan nuevas ideas sobre de que forma la tecnología óleo-hidráulica puede aportar mejoras.

A la vista del contenido de la tabla citada antes, cabe considerar que es posible introducir una sensible mejora de las prestaciones de los mecanismos utilizados si somos capaces de accionar y controlar dos o más actuadores (grados de libertad) de forma simultánea, coordinada y sincronizada. A título de ejemplo, y basándonos en el caso particular de una cargadora frontal, la solución a desarrollar en esta tesis permite que un operador, con un solo mando, pueda levantar la pala llena de material granular desde el suelo hasta la altura máxima, sin derramarse gracias a que el cilindro de elevación y el de inclinación / volteo se mueven al mismo tiempo con una relación de velocidades prefijada y de forma sincronizada, quedándose el segundo mando relegado a funciones secundarias (por ejemplo descarga por volteo) o anular la sincronización.

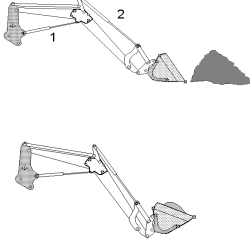
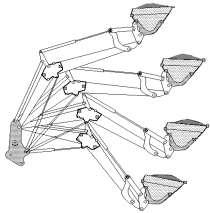
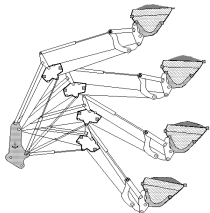
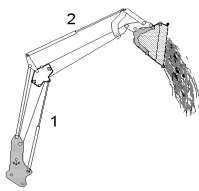
Máquina	Tareas principales		Tareas secundarias		Comentarios
	Funciones	Soluciones convencionales	Funciones	Soluciones convencionales	
cargador frontal	<ul style="list-style-type: none"> - Cargar 	<ul style="list-style-type: none"> - La pala es movida y posicionada a través del cilindro de inclinación / volteo (2) mediante una transmisión por un cuadrilátero articulado 	<ul style="list-style-type: none"> - Facilidad para cambiar aperos - Aumentar visibilidad 	<ul style="list-style-type: none"> - Sistema de enganche mecánico / manual - Modificar geometría y/o morfología 	
	<ul style="list-style-type: none"> - Mover (subir y bajar) con la inclinación adecuada para que la carga no se caiga ni hacia atrás ni hacia delante 	<ul style="list-style-type: none"> - El brazo es accionado con el cilindro de elevación (1) y orientada con el cilindro de inclinación / volteo (2). Ello implica necesariamente maniobrar dos palancas simultáneamente, una para cada cilindro y de forma coordinada para conseguir el movimiento deseado. Para ello, la repetibilidad de las maniobras dependen de la habilidad del operario 	<ul style="list-style-type: none"> - Trayectoria curvilínea 	<ul style="list-style-type: none"> - Mecanismo de barras articuladas con varios bucles. 	<ul style="list-style-type: none"> - A mayores prestaciones mayor es el número de grados de libertad. En consecuencia el operario debe manipular varios cilindros de forma simultánea y coordinada. La repetibilidad de las maniobras exigen un alto nivel de concentración del operario, lo cual le implica fatiga
	<ul style="list-style-type: none"> - Mover (subir y bajar) con la inclinación adecuada para que la carga no se caiga ni hacia atrás ni hacia delante 		<ul style="list-style-type: none"> - Trayectoria vertical - Alcanzar la mayor altura de vaciado posible. - El elemento terminal tenga una inclinación prefijada, por ejemplo orientación horizontal 	<ul style="list-style-type: none"> - Para conseguir trayectorias particulares como es el caso de una trayectoria vertical, es necesario disponer de una geometría particular del mecanismo - Para conseguir mayor altura, se puede lograr mediante una barra de elevación telescópica - Mecanismo de barras articuladas con varios bucles. 	<ul style="list-style-type: none"> - El operario debe ajustar de forma adecuada la longitud de la barra variable según la función deseada
	<ul style="list-style-type: none"> - Vaciar o depositar la carga 	<ul style="list-style-type: none"> - La pala es movida a la posición de vaciado a través del cilindro de inclinación / volteo (2) mediante una transmisión por un cuadrilátero articulado acoplado al apero 	<ul style="list-style-type: none"> - Mantener el ángulo de volteo máximo en todo el área de trabajo 	<ul style="list-style-type: none"> - Añadir un cilindro adicional (un grado de libertad) 	<ul style="list-style-type: none"> - La geometría del cuadrilátero articulado al apero y su funcionalidad condiciona sensiblemente el diseño del resto del cargador frontal

Tabla 1.a – Unidad pala cargadora


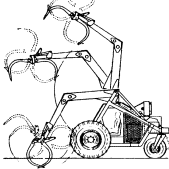
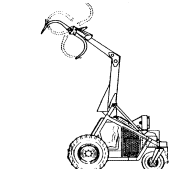
Máquina	Tareas principales		Tareas secundarias		Comentarios
	Funciones	Soluciones convencionales	Funciones	Soluciones convencionales	
Alzadora de caña de azúcar	<ul style="list-style-type: none"> Atrapar la caña que ha sido cortada de forma manual 	<ul style="list-style-type: none"> Se utiliza una jaiba articulada en el extremo exterior del brazo, la cual gira y se abre mediante tres actuadores lineales (dos para orientar y uno para abrir). Estos son accionados mediante palancas por el operario. 	<ul style="list-style-type: none"> Evitar recoger material no deseado (piedras, tierra, etc.) Recoger los cogollos que tira la cosechadora combinada. 	<ul style="list-style-type: none"> Dotar de garras en forma de dedos o uñas a la jaiba de forma que sólo se depositen cañas, forrajes o cualquier otro elemento largo. Sustituir la jaiba por otro apero. 	<ul style="list-style-type: none"> Número elevado de actuadores a controlar, lo que conduce a fatiga del conductor.
	<ul style="list-style-type: none"> Levantar el brazo a una altura mayor que la de un contenedor o camión. 	<ul style="list-style-type: none"> Una vez acopiado suficiente cantidad de forraje o caña, la garra superior cierra la jaiba y el operador acciona el actuador lineal acoplado al brazo para elevar la carga a suficiente altura. 	<ul style="list-style-type: none"> Aumento de la visibilidad. 	<ul style="list-style-type: none"> Diseño adecuado del brazo de elevación Optimización de la geometría y/o morfología del brazo de elevación 	
	<ul style="list-style-type: none"> Vaciar la carga 	<ul style="list-style-type: none"> Una vez que la carga se encuentra sobre el contenedor, el operador acciona los cilindros para girar la jaiba a la posición de vaciado y después acciona el cilindro de apertura para que la carga caiga por acción de su propio peso 	<ul style="list-style-type: none"> Compactar el forraje o la caña depositada en el transportador 	<ul style="list-style-type: none"> Aumentar el peso muerto de la máquina y modificar el circuito hidráulico (doble efecto) para que el brazo pueda ejercer una fuerza importante hacia abajo para compactar 	<ul style="list-style-type: none"> Cada grado de libertad implica un cilindro más lo que conlleva complejidad al sistema y mayor exigencia de atención por parte del operario lo que puede repercutir en cansancio, falla de precisión y posible merma de garantía de seguridad.

Tabla 1.b – Unidad alzadora de caña de azúcar

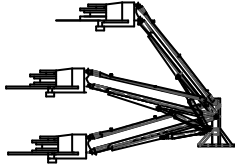
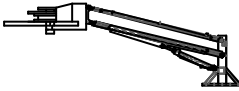
Máquina	Tareas principales		Tareas secundarias		Comentarios
	Funciones	Soluciones convencionales	Funciones	Soluciones convencionales	
Unidad corta-cogollos	<ul style="list-style-type: none"> Mover (subir y bajar) el corta-cogollos adaptándose a la altura de la caña de azúcar 	<ul style="list-style-type: none"> Mecanismo de cuatro barras articuladas (paralelogramo) accionadas por un sólo cilindro óleo-hidráulico. El operario debe maniobrar una palanca para accionar el cilindro y ajustar la altura de corte en dependencia de las irregularidades del terreno y/o variación de la altura de la caña de azúcar 	<ul style="list-style-type: none"> Aumentar visibilidad 	<ul style="list-style-type: none"> Modificar geometría y/o morfología 	<ul style="list-style-type: none"> El mecanismo de cuatro barras articuladas reduce la visibilidad, mantiene únicamente la orientación horizontal de las cuchillas y provoca rigidez excesiva
			<ul style="list-style-type: none"> Flexibilidad en la orientación de las cuchillas 	<ul style="list-style-type: none"> Sustituir el mecanismo de cuatro barras articuladas por un mecanismo de péndulo doble (2 grados de libertad) 	<ul style="list-style-type: none"> La operación de corte de la caña de azúcar exige al operario un alto grado de concentración para mantener la altura adecuada del mecanismo corta-cogollos. La inclusión de un grado de libertad adicional requiere una atención extra lo que implica cansancio. Por el contrario este cambio de morfología mejora la visibilidad
	<ul style="list-style-type: none"> Cortar cogollos 	<ul style="list-style-type: none"> Se usan tres discos (dos recolectores más uno con cuchillas) accionados con motores óleo-hidráulicos. 	<ul style="list-style-type: none"> Triturar y lanzar los cogollos hacia fuera para aprovecharlos como abono orgánico. 	<ul style="list-style-type: none"> El mecanismo tiene un par de cubos rotativos con unos dedos en su periferia en forma de triángulos de chapa para atrapar los cogollos, los cuales las cuchillas cortan y trituran y luego descargan. 	<ul style="list-style-type: none"> Problemas de sincronización de los motores óleo-hidráulicos.

Tabla 1.c – Unidad corta cogollos