

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

**Desarrollo de un cabezal experimental para la
cosecha directa de frijol.**

Por:

FRANCISCO PABLO SILVERIO

T E S I S

**Presentada como requisito parcial para
obtener el título de:**

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Mayo de 2006



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO**

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

Desarrollo de cabezal experimental para la cosecha directa de
fríjol.

Por:

Francisco Pablo Silverio

T E S I S

Que somete a consideración del H. Jurado Examinador como requisito
parcial para obtener el título de:

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Aprobada por el comité de tesis

Asesor Principal.

Dr. Martín Cadena Zapata

Asesor externo del INIFAP

Sinodal

M.C. Joaquín Bonilla Bada

M.C. Tomás Gaytán Muñiz

Coordinador de la División de Ingeniería

Dr. Javier de Jesús Cortes Bracho

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Mayo de 2006.

INDICE DE CONTENIDO

	pagina
INDICE DE FIGURAS.....	ix
INDICE DE TABLAS.....	xi
RESUMEN.....	xii
I. INTRODUCCION.....	1
1.1. Antecedentes.....	3
1.2. Objetivos e hipótesis.....	5
II. REVISION DE LITERATURA	
2.1. Métodos de cosecha de frijól.....	6
2.1.1. Arranque o Corte.....	7
2.1.2. Acordado o alomillado.....	8
2.1.3. Trilla.....	9
2.2. Desarrollo de cabezales de frijól.....	10
2.3. Plataforma de corte y recolección de una combinada	12
2.3.1. Construcción general	13
2.3.1.1 Molinete	14
2.3.1.2 Barra de corte.....	15
2.3.1.3. Conductor transversal.....	16
2.3.1.4. Conductor de alimentación	16
2.4. Consideraciones para el diseño del cabezal.....	18
2.4.1. Análisis cinemático del mecanismo manivela-biela-corredera	18
2.4.2. Análisis cinemático del mecanismo de cuatro barras	20
2.4.3. Fuerzas debido a la inercia de una cuchilla de corte.....	25

2.4.4.	Elementos de transmisión por cadena.....	25
III. MATERIALES Y METODOS		
3.1.	Ubicación del lugar de proyecto.....	28
3.2.	Componentes utilizados en la construcción del cabeza.....	28
3.3.	Materiales utilizados en construcción del chasis	31
3.4.	Equipo y material utilizado en las evaluaciones	32
3.5.	Metodología.....	33
3.5.1.	Primera fase: Evaluación en laboratorio con guardas sin Cerdas levantadoras.....	35
3.5.2	Segunda fase: Evaluación en campo del cabezal.....	37
3.5.3.	Tercera fase: Evaluación del cabezal en laboratorio utilizando cerdas levantadoras.....	38
3.6.	Diseño experimental.....	40
IV. RESULTADOS Y DISCUSION		
4.1.	Descripción del cabezal de corte.....	41
4.2.	Diferencias fenotípicas entre variedades.....	43
4.3.	Resultados de la evaluación en laboratorio con guardas sin Cerdas levantadoras.....	45
4.4.	Evaluación utilizando guardas protectoras con cerdas levantadoras.....	47
4.5.	Evaluación en campo del cabezal de corte.....	49
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		
VI. LITERATURA CITADA.....		
VII. ANEXOS.....		

INDICE DE FIGURAS

	Pagina
Figura 2.1	Cabezal para cosecha de fríjol.....9
Figura 2.2	Cabezal de corte para una combinada.....14
Figura 2.3	Molinete de paletas y tipo recogedor..... 14
Figura 2.4	Vista seccional de una barra de corte.....16
Figura 3.1	Motor hidráulico colocado para impulsar el papalote.....29
Figura 3.2	Moto reductor hidráulico empleado para accionar la cuchilla de corte.....29
Figura 3.3	Válvula reguladora y divisora de flujo conectadas.....30
Figura 3.4	Mecanismo impulsor de cadena.....30
Figura 3.5	Unidad de potencia empleada para el impulso de aceite.....32
Figura 3.6	Plantas sobre la plataforma y medición de altura de horqueta.....35
Figura 3.7	Plantas de fríjol pintadas.....35
Figura 3.8	Plantas empujadas hacia la barra de corte.....36
Figura 3.9	Plantas cortadas en la cuchilla de corte.....36
Figura 3.10	Plantas después del corte.....36

Figura 3.11	Frijol en hileras bajo evaluación.....	37
Figura 3.12	Evaluación del cabezal en campo.....	37
Figura 3.13	Pantógrafo utilizado para reproducir la pieza.....	38
Figura 3.14	Placa utilizada para la fabricación de las guardas.....	38
Figura 3.15	Cerdas de 0.1 mm de diámetro adheridas sobre las guardas modificadas.....	39
Figura 3.16	Altura de cortes variables.....	39
Figura 3.17	Pruebas con cerdas levantadoras.....	39
Figura 4.1	Papalote de cabezal de corte.....	41
Figura 4.2	Figura Mecanismo de la leva.....	41
Figura 4.3	Cerdas adheridas sobre las guardas.....	42
Figura 4.4	Vista superior de las guardas.....	42
Figura 4.5	Cabezal de corte y componentes.....	42
Figura 4.6	Pruebas de evaluación en laboratorio sin utilizar cerdas en las guardas.....	45
Figura 4.7	Vainas levantadas por cerdas adheridas.....	47
Figura 4.8	Evaluación en laboratorio utilizando cerdas levantadoras.....	47
Figura 4.9	Evaluación del cabezal en campo.....	49
Figura 4.10	Plantas después del corte.....	48

INDICE DE TABLAS

	Pagina
Tabla 4.1	Análisis de varianza de alturas de horquetas para las 6 Variedades de frijol.....43
Tabla 4.2	Comparación de medias para las alturas de horquetas de las variedades de frijol.....43
Tabla 4.3	Análisis de varianza de alturas de vainas.....44
Tabla 4.4	Comparación de medias de alturas de vainas.....44
Tabla 4.5	Análisis de Varianza para 6 variedades de frijol, bajo condiciones de laboratorio usando guardas sin cerdas levantadoras.....46
Tabla 4.6	Comparación de medias para las 6 variedades de frijol en

	condiciones de laboratorio utilizando guardas sin cerdas.....	46
Tabla 4.7	Análisis de Varianza de pérdidas para las 4 alturas de corte, bajo condiciones de laboratorio usando guardas con cerdas levantadoras.....	48
Tabla 4.8	Comparación de medias para las 4 alturas de corte bajo condiciones de laboratorio usando cerdas.....	48
Tabla 4.9	Análisis de Varianza de pérdidas para las 5 variedades de frijol, bajo condiciones de campo usando guardas sin cerdas levantadoras.....	49
Tabla 4.10	Comparación de medias para las 5 variedades de frijol en condiciones de campo sin usar cerdas levantadoras.....	50

RESUMEN

En México el sistema tradicional de cosecha de frijol representa un proceso largo y costoso, esto se debe principalmente a la realización de labores inadecuadas y la falta de equipo, que provoca una pérdida en este proceso de hasta 348 kg/ha de grano.

Para realizar una buena cosecha de frijol, es indispensable el mejorar la maquinaria, la realización de prácticas de manejo y el desarrollo de variedades adecuadas a la cosecha directa, como es el caso de países desarrollados.

El objetivo principal de este proyecto fue desarrollar y evaluar un cabezal experimental para cosecha directa de frijol. El desarrollo requirió la combinación de dos áreas del conocimiento, la ingeniería agrícola y la agronomía. El proceso incluyó la construcción de un cabezal con todos sus componentes y la evaluación del cabezal en laboratorio y campo con variedades de frijol. Se construyó un equipo integrado de una unidad de corte, un papalote con cepillos barredores para el arrastre de plantas y una serie de guardas modificadas con cerdas adheridas.

La evaluación se realizó con seis variedades de frijol desarrolladas para cosecha directa (NEGRO NAYARIT, COTAXTLA, A55, DOR 454, VARIEDAD DESCONOCIDA Y NEGRO MEDELLIN), tanto en laboratorio como en campo; los primeros resultados en laboratorio y en campo con el uso de guardas comunes sobre el cabezal llevaron a la conclusión que solo las variedades A55 y NEGRO NAYARIT fueron aptas para cosecha directa con un porcentaje de 9 y 5% respectivamente, como consecuencia de esto se modificó el diseño en las guardas y se incorporó el uso de cerdas levantadoras, las nuevas evaluaciones se realizaron por alturas de vainas de 0.0, -20.0, -40.0 y -60.0 mm con respecto a la cuchilla, los resultados confirmaron que las mejores alturas para corte directo y con menores pérdidas fueron las de 0.0, -20 y -40 mm con 11, 12 y 4% respectivamente.

I. INTRODUCCION.

En México, el cultivo del frijol junto con el maíz, representa toda una tradición productiva y de consumo, cumpliendo con diversas funciones de carácter alimentario y socioeconómico que le han permitido trascender en la actualidad.

Se trata de uno de los cultivos de mayor importancia en el país debido a que representa para la economía de los productores una fuente importante de ocupación e ingreso, a la vez es una garantía de seguridad alimentaria (SAGARPA, 2004).

En 2004 la producción de frijol en México alcanzó las 1163.4 mil toneladas de 1,678.4 mil hectáreas que se cosecharon (SIAP 2004), el cual lo hace ser el cultivo más importante después del maíz.

Dentro de los estados que con mayor producción de frijol en México destacan: Zacatecas, Sinaloa, Durango, Nayarit, Chiapas, Guanajuato y Chihuahua (SIAP, 2004).

La producción de frijol es representativa de la variedad de formas productivas que caracterizan al campo de México, ya que en ella coexiste la agricultura comercial, de transición y de subsistencia.

Sin embargo la producción de esta leguminosa enfrenta una serie de factores limitantes que van desde los problemas fitopatológicos, entomológicos y agronómicos. Entre este último sobresalen las labores culturales y pérdidas por cosecha, este último punto reviste singular importancia ya que en la actualidad la cosecha tradicional es lenta y expone el frijol ya maduro a las inclemencias del ambiente, esto hace que las vainas sean más frágiles a romperse, provocando pérdida de grano y calidad (Salinas et al.).

Por otra parte, la falta de mano de obra en el campo se agudiza conforme entramos a la globalización, con alta demanda de mano de obra en los

sectores secundario y terciario. Se ha estimado que el que el frijol demanda un promedio de 35 jornales por hectárea (SAGARPA, 2004), además de representar alta demanda de mano de obra y un alto costo, la cosecha de frijol en la forma en que se realiza actualmente representa un problema que se agudiza conforme pasa el tiempo (Salinas et al. 2004)

Salinas et al. (2004) .Realizaron en Durango un estudio sobre la estimación de perdidas por cosecha, en los diferentes procesos que comprenden esta fase. Se encontró que la mayor cantidad fue en el trillado, siguiendo la fase del alomillado y una menor cantidad de perdidas en el corte o aflojado, es decir, mayor dentro del lomillo que entre lomillos, con promedio de 641.2 y 53.9 kg/ha respectivamente. La perdida promedio global fue de 347.6 kg/ha. Se encontraron localidades con una gran perdida por desgrane y en esos casos también tuvo influencia la oportunidad de la labor, ya que no hay disponibilidad de maquinaria para la trilla, igual puede ocurrir con el corte y alomillado, sin embargo, el efecto de esa falta de maquinaria ocasiona mayor perdida durante la trilla. Esto último ocurre sobre todo a familias que siembran cientos de hectáreas y que tienen que trasladar la maquinaria de una localidad a otra.

En de algunas partes Canadá y Estados Unidos, la cosecha de frijol se realiza en forma directa, debido a que se han desarrollado variedades de frijol aptas para cosecha directa, además de algunos dispositivos que se adaptado a los cabezales de las combinadas para evitar perdidas de grano al momento de la cosecha, esto significa que evitan actividades como las realizadas en México o las de un sistema tradicional de cosecha, y también representan menos mano de obra.

En México el sistema tradicional de cosecha de frijol representa un proceso de más tiempo y más costo, además de representar alta demanda de mano de obra. Las estrategias para realizar cosecha directa en frijol incluyen el

desarrollo da maquinaria, afinación de practicas agronómicas y el desarrollo de plantas adecuadas (Salinas et al.).

Actualmente el Centro de Investigación Regional del Noroeste (CIRNO) Campo Experimental Valle del Fuerte y el Campo Experimental Valle del Fuerte(CEVAF) están desarrollando nuevas variedades de frijol aptas para cosecha directa.

Todo lo explicado anteriormente podría resolverse con el desarrollo de un cabezal de corte directo de frijol.

1.1 Antecedentes.

A este respecto Coronel (1977) demostró la necesidad de tener una adecuada atención en los diferentes procesos que comprende la cosecha de frijol y que son motivo de perdidas por desgrane. Se detectó que por desgrane en las distintas fases se pierde un promedio 107 kilogramos por hectárea: en la paja se encontró un perdida de 101 kilogramos por hectárea, originada por la mala operación de la maquina trilladora; en el arranque y alomillado se pierden 103 kilogramos por hectárea; por lo que es recomendable poner mas atención en la recolección, con lo cual es posible incrementar la cosecha hasta en un 25 por ciento.

Un estudio sobre perdidas en cosecha, registró que en promedio de varios países, se pierden 254 Kg. /ha, aunque en casos extremos. Llegaron hasta 700 Kg. /ha (Watkins, 1982).

Maldonado (1991) las características de las combinadas limitan la cosecha del frijol debido a lo frágil que resultan las vainas en el momento de la

cosecha. El sistema de alimentación de este tipo de maquinas fue diseñado para cultivos en los que un corte brusco de las plantas no provoca el desprendimiento de las semillas, como lo es el trigo, entre muchos. Existen en la actualidad dispositivos adaptables a las maquinas cosechadoras combinadas capaces de cortar ciertas variedades de frijol, pero no las de mayor abundancia, ni las de mayor consumo en el país. Una de las opciones actualmente recurridas es la de cortar las plantas de frijol en forma manual, y alimentarlas de la misma forma a la maquina cosechadora combinada, labor costosa, además tardada.

Recientemente, nuevas variedades de frijol de crecimiento erecto, aptas para cosecha directa han sido desarrolladas debido a que las plantas crecen con mucho follaje por lo tienden a doblarse por el excesivo peso, esto dificulta la cosecha (Papworth et al.)

El método convencional para el cultivo de frijol en hileras, requiere semilla especial, manejo y equipo de cosecha (Papworth et al.)

Las plantas son arrancadas antes de la cosecha para detener el crecimiento de las raíces en el suelo. Las plantas son fácilmente arrancadas del suelo con un arrancador y levantadas con un recogedor especial de la combinada. El frijol ha sido cultivado de esta manera por muchos años porque no hay otro método para trabajar con pérdidas mínimas durante la cosecha (Papworth et al.).

La pérdida de grano durante la cosecha se debe principalmente a dos causas 1) pérdida de campo y 2) pérdida de trilla. La suma de estas dos origina una pérdida total de cosecha.

La primera no es atribuible a la maquina y se debe principalmente a secado excesivo de la vaina, madurez no uniforme, materiales dehiscentes, falta de combinadas, movimientos del cultivo en el campo y otras causas naturales. En la segunda intervienen los diferentes componentes de la combinada; los más importantes son el mecanismo de trilla y limpieza ya que el primero trilla más del 90 por ciento del producto.

1.2. Objetivos e hipótesis

Objetivos.

- Obtener parámetros de diseño para el desarrollo de un cabezal experimental para la cosecha de frijol.
- Diseño, construcción y evaluación de un cabezal experimental para la cosecha directa de frijol.

Hipótesis.

El cabezal experimental de cosecha directa es capaz de cortar variedades de frijol desarrolladas en México.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1. Métodos de cosecha de fríjol

En México la cosecha de fríjol, en un trabajo que consta de cuatro operaciones básicas: corte o arranque, alomillado, trilla, limpia. Es una labor que se puede efectuar manualmente, en forma semimecanizada o combinada y mecanizada (sep/trillas, 1982).

La primera forma se realiza en pequeña escala, principalmente en la producción de autoconsumo, por lo general las plantas son arrancadas manualmente y dejadas en campo para el secado, después las vainas son azotadas para lograr su desgrane. En algunas partes las plantas después del

secado, son introducidas en maquinas trilladoras estacionarias para el trillado de las vainas.

La segunda forma es la más común en el noroeste de México, pero con una gran tendencia a mecanizarse completamente, con el objetivo de disminuir los costos de cultivo y obtener la utilidad máxima de la inversión (Mark 1979).

El último método, se realiza totalmente mecanizado, en países como Canadá y Estados Unidos, con variedades aptas para cosecha directa.

Las prácticas de manejo empleadas durante la última etapa del cultivo aunque varían de acuerdo a la región de que se trate son muy importantes, y se debe prestar atención al momento de efectuarlas para obtener un mejor aprovechamiento del grano y de los insumos empleados durante el desarrollo.

2.1.1. Arranque o Corte

La semilla alcanza su punto optimo de cosecha cuando todas la hojas están amarillas y la mitad ya han caído de la planta (Sainz, 1974) al llegar este momento y de acuerdo a las condiciones del tiempo se puede iniciar la cosecha.

El arranque se efectúa cuando la planta llega a su estado de madurez fisiológica, es importante realizar esta practica oportunamente sobre todo cuando se desea establecer segundos cultivos, se debe tener cuidado de no cortar cuando las vainas estén tiernas porque al existir una suspensión en el llenado de la semilla queda deforme o chupado, fenómeno que bajaría la calidad y rendimiento del grano.

En la practica las plantas se arrancan o cortan cuando se encuentran casi secas pero sin tirar el grano. Cuando esta labor es manual, se arrancan las plantas de 4 a 6 surcos y se acomodan en una sola hilera, trabajo llamado regionalmente “engavillado o faina” y se queda el cultivo para su secado en el campo; es común que esta labor se realice durante la mañana para que con la humedad del rocío las plantas y las vainas no se desgranen (Gonzáles Trejo y Quiñónez, 1980).

Al madurar la planta de frijol, se corta o arranca unos centímetros debajo del suelo con una cortadora, implemento que se adapta al tractor y que se puede conseguir en el mercado del ramo. Las cortadoras más comunes normalmente constan de un par de cuchillas o en forma de V o bien cuchillas planas, que cortan las plantas de dos surcos a nivel del suelo, semejándose esta labor a un simple cultivo donde la diferencia es que las plantas quedan desprendidas del suelo para su secado (Gonzáles Trejo y Quiñónez, 1980). Para que funcionen bien estos implementos se deben usar en terrenos planos, con variedades de hábito de crecimiento erecto y maduración uniforme; así mismo, se requiere de una adecuada distancia entre surcos los cuales deben estar bien formados para facilitar la operación. Cuando se pasa de madurez fisiológica, es preferible efectuar esta labor en forma manual para evitar perdidas por desgrane.

De los diferentes tipos de cortadoras mecánicas dan mejor resultado las que tienen la cuchilla en la parte delantera e intermedia del tractor debido a que pisan menos al cultivo.

El corte de frijol ofrece la ventaja de ser rápido, eficiente y de bajo costo, esta labor se facilita cuando se siembran variedades de tipo erecto, se hacen surcos y la planta queda en el bordo y no hay problema con malezas, de lo contrario o cuando el frijol este muy seco, el corte debe ser manual.

2.1.2. Acordado o alomillado

El secado en el campo es un proceso dinámico controlado por las condiciones atmosféricas locales. Es esencial tener conocimiento del contenido de humedad de la vaina y la semilla durante la época de recolección para cosechar antes de que se desgranen las vainas y evitar pérdidas de grano en el campo(CIAT, 1979).

Es común que después de arrancar o cortar el frijol, este quede alomillado en el campo durante seis u ocho días aproximadamente, lo cual depende de las condiciones de humedad ambiental y de la humedad con que se cortó el cultivo. Uno o dos días antes que entre la máquina para trillar se procede a “acordar, o alomillar”, labor que consiste en juntar en una sola hilera, tres o cuatro hileras de engavillado. Esta operación en la mayoría de los casos se efectúa en forma manual.

El Alomillado también se puede efectuar por procedimientos mecánicos mediante un implemento comúnmente llamado “rastrillo giratorio”, el cual se conecta al tractor. Para un buen funcionamiento se debe procurar efectuar esta labor durante la noche o madrugada, cuando las plantas y vainas estén flexibles por la humedad del rocío, evitando así que se desgranen las vainas.

2.1.3. Trilla

La trilla o desgrane de frijol en el noroeste se efectúa casi en su totalidad mediante el uso de las combinadas comunes, las cuales, a diferencia de la cosecha en otros cultivos, el cabezal utilizado carece del molinete y la barra de corte, provistas en este caso solamente de un implemento denominado

banco frijolero que es el que recoge y alimenta a la combinada para la trilla del frijol (Figura 2.1)



Figura 2.1 .Cabezal para cosecha de frijol

El banco frijolero que se adapta a la trilladora convencional, esta equipada con dos separadores montados en sus extremos. Estos sirven para separar el material que se va trillar. Un “pick up”, molinete provisto de ganchos que levantan la planta alomillada de frijol en la plataforma posteriormente el material es llevado por un conductor transversal hacia el mecanismo de trilla, unidad de separación y limpieza, proceso que se da en todas las cosechadoras combinadas.

El momento oportuno de efectuar la trilla ocurre cuando el contenido de humedad en el grano se encuentra entre 14 y 15 por ciento, (Watkins 1982). A fin de evitar pérdidas por cosecha. Además, es indispensable que la maquina combinada se encuentra en optimas condiciones para efectuar esta labor, ya que de no ser así pueden existir mermas de grado debido a un mal

funcionamiento a falta de ajuste en algunos de sus componentes (CIAPAN, 1977-1980).

2.2. Desarrollo de cabezales de frijol

Mc. Colly citado por Zyla (1958) reportó pérdidas de recolección de 9.0% en frijol navy, pero la cosecha tenía que ser con hoz operada 40% del el tiempo. Durante condiciones de sequía, pérdidas de 23.2% fueron registradas.

Gunkel y Anstee (1962) evaluaron un cabezal para hileras. Al cual se le adhirieron dedos de goma y bandas en V, operados con una inclinación para peinar las cepas y vainas levantadas por una barra de corte de vaivén. Dos cónicos, cepillos rotativos fueron mas tarde adheridos a un dispositivo similar y puestos en cada lado de la hileras para subir las vainas verticalmente. Los cepillos se obstruyeron con material de las plantas durante las pruebas.

Gunkel y Anstee (1962) evaluaron una cosechadora de frijol. Los resultados preliminares fueron mejores, pero la literatura no reveló una continuación del trabajo. También evaluaron un dispositivo jalador hecho de una banda plana, consistiendo en dos bandas de 460 mm de ancho sujetadas bajo la tensión de un resorte. Las bandas colocadas en cada lado de la hilera, arrancaron las plantas de frijol del suelo a una pendiente. Las pérdidas fueron 30% de lo convencional, pero el dispositivo no fue llevado a un producto comercial.

La importancia del incremento de soya en los Estados Unidos, proporcionó un impulso para mejorar equipos de cosecha directa. Estos incluyeron el cabezal de corte flotante (Neal 1978), la barra de corte estrecha inclinada (Quick y Buchele 1974; Quick y Mills 1978), la barra de corte flexible (Bichel

et al.1976, y el cabezal de hileras para soya (Bichel y Hengen 1978). Guardas de inyección, consistiendo de mangueras colocadas enfrente de la barra de corte para introducir vainas dentro de la cosechadora, fueron también evaluadas (Nave et al.1972, 1977; Tunell et al 1973; Wait et al. 1974; Nave y Yoerger 1975).

Investigadores pronto empezaron el desarrollo del potencial de mejorar equipo para cosecha de en frijol. Smith y Biere (1985) compararon el cabezal de corte flexible para arranque y encontraron perdidas por recolección de 25 y 9.0%, respectivamente. Harrigan et al. (1991) reportó perdidas por recolección de 8.3% en flor de mayo usando un cabezal flotante flexible equipado con un papalote tipo recogedor y un papalote aéreo modificado. Las perdidas comparables por la barra y cuchilla tipo cortadora fueron 3.9 y 4.6%, respectivamente. Zyla (1993) evaluó guardas de inyección en frijol pinto"otello". Las perdidas de rendimiento por cosecha fueron reducidas del 50% de un equipo convencional a 39% por guardas de inyección.

Zyla, et al. (A. 2002). Desarrollaron un cabezal para cosecha directa de frijol. Sobre el cual a las guardas en la parte alta se les adherio una serie de cerdas en forma lateral con el fin de levantar las vainas mas bajas y evitar ser cortadas por la cuchilla. El significado de perdidas en frijol pinto "otello" fue de 18%, para una guarda con cerdas y 29% para las guardas comunes. Una mayor parte de la perdida por cosecha fue de semilla destrozada.

El impedimento de las cerdas para el flujo de plantas a través de las guardas necesitó la evaluación de dos tipos de paletas con un diámetro de papalote reducido. Los ganchos del molinete común fueron reemplazados por cerdas de mejor contacto. Un diseño de doble paletas escogieron para ofrecer mas soporte a las plantas. Un análisis teórico mostró que el diámetro reducido del

papalote ofrecía mas soporte para las plantas de frijol en los sistemas de guardas con cerdas y menos daño.

El centro de tecnología agrícola (Agtech centre 2004) probó varios levantadores para cabezal y accesorios para papalote durante la cosecha de frijol. Las pérdidas fueron evaluadas para cada arreglo de cabezales. Los resultados mostraron que algunos de los accesorios redujeron las pérdidas de frijol durante la cosecha, pero el dato fue inconcluso y e inconsistente después de dos años de prueba.

Observaciones durante las pruebas concluyeron que las condiciones de clima y cosecha tenían influencia con la cantidad de pérdidas aparte de los accesorios del cabezal.

Bragachini, et al. (2004) realizaron una evaluación de pérdida de cabezal sojero con dos tipos de molinete distintos sobre una misma maquina, adhiriendo un kit de paletas de goma sobre el molinete, obteniendo con ello un promedio de pérdidas de 56 kg/ha de pérdidas(cabezal) y 164kg/ha con un molinete normal. La disminución de pérdidas por cabezal sojero, logrado con el kit de paletas de gomas de 108kg/ha representa un 10.8%.

2.3. Plataforma de corte y recolección de una combinada.

Chaparro 1990 Menciona que las combinadas realizan diversas funciones que permiten la recolección de granos directamente del campo en un proceso de corte del tallo de la planta, el transporte del material diferente al grano de este, y la limpieza del grano previamente separado.

La plataforma de corte y recolección de la cosechadora combinada de granos forma un conjunto de partes operativas que sirven para cortar el cultivo, recoger el material cortado y conducirlo hacia la unidad de trilla.

2.3.1. Construcción general

La plataforma consiste en un conjunto de las siguientes partes principales:

- Dos separadores, uno a cada lado de la plataforma, que separan el material que se va a cortar de las plantas que quedan de pie.
- Molinete para sujetar los tallos de las plantas contra la barra de corte. Luego del corte, este descarga el material cortado sobre la plataforma.
- Barra de corte.
- Conductor transversal tipo gusano que junta el material cortado en la parte central de la plataforma y lo lleva hacia el conductor de alimentación.
- Conductor de alimentación para elevar el material al mecanismo de trilla.

El ancho de la plataforma, o sea, el ancho de corte, varia de aproximadamente 2.5 hasta 7.3 m. Para transportar plataformas anchas de un campo a otro, primero se desconecta esta de la maquina. Luego, el conjunto se coloca longitudinalmente detrás de la maquina.

En posición de trabajo, el conjunto va montado en la parte delantera de la maquina sobre dos cojinetes y dos cilindros hidráulicos. Mediante el sistema hidráulico, el operador puede bajar y levantar la plataforma respecto de la maquina. Así, puede ajustar la altura de corte de la plataforma

El montaje en la parte delantera de la maquina tiene la ventaja de que la maquina misma pasa libremente sin dañar el cultivo en pie.

La figura 2.2 muestra la construcción general de una plataforma.

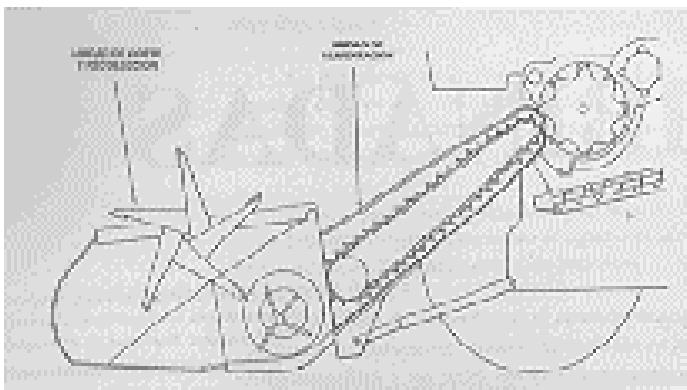


Figura 2.2 Cabezal de corte para una combinada.

2.3.1.1. Molinete.

Existen molinetes tipo rígido o de paletas y tipo recogedor (Figura2.3). Ambos pueden tener de cuatro a ocho aspas. El molinete tipo rígido tiene las aspas montadas sobre brazos radiales. Su uso es limitado porque no puede recoger el material que esta tumbado. Por esto la mayoría de las cosechadoras combinadas de granos esta equipada con molinetes tipo recogedor.

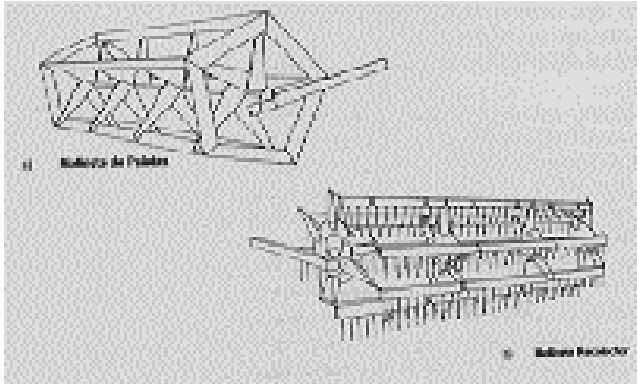


Figura 2.3 Molinete de paletas y tipo recogedor

La velocidad del molinete depende de la velocidad de la combinada. La relación entre la velocidad del molinete y de la combinada se conoce como índice de molinete (λ) ecuación 1.

$$\text{Índice de molinete} = \lambda = \frac{\text{velocidad del molinete}(m/\text{min})}{\text{velocidad de la combinada}(m/\text{min})} \quad (1)$$

El radio de velocidad periférica del papalote para velocidad de avance (índice de velocidad del molinete) debe estar entre 1.25 a 1.5 en la mayoría de las condiciones en cosecha directa. (Kepner et al. 1978)

La posición de el papalote de con respecto a la barra de corte es ajustable verticalmente y horizontalmente, el control de ajuste de la altura, se realiza desde el asiento del operador. Para corte directo, el eje del papalote es casi siempre de 150 a 300 mm por delante de la barra de corte. (Kepner et, al. 1978)

2.3.1.2. Barra de corte

La barra de corte (Figura 2.4) efectúa el corte del tallo por desplazamiento horizontal de la cuchilla. En las combinadas, las cuchillas de la barra de corte son estriadas y no se pueden afilar; ello obliga a que deban cambiar cuando se desgastan o se dañan.

El peso de la plataforma está balanceado mediante resortes y eso permite ajustar la altura de corte. Las máquinas modernas usualmente regulan la altura mediante cilindros hidráulicos, esto permite que el corte se pueda efectuar desde la superficie del suelo. Hasta aproximadamente unos 150 cm por encima de la misma.

El movimiento lo reciben las cuchillas por una biela, lo cual a su vez es accionado por una polea que recibe el movimiento mediante una cadena o una correa en V. La biela se articula a la barra de corte mediante un buje de goma que permite absorber las vibraciones que se presentan durante la operación.

La velocidad de la barra de corte debe oscilar 350 y 550 ciclos por minuto. El valor inferior se utiliza para el corte de leguminosas, donde alta velocidad puede traducirse en dehiscencia de las vainas (Chaparro 1990).

La construcción de la barra de corte de la plataforma es similar a la de la segadora de forrajes.

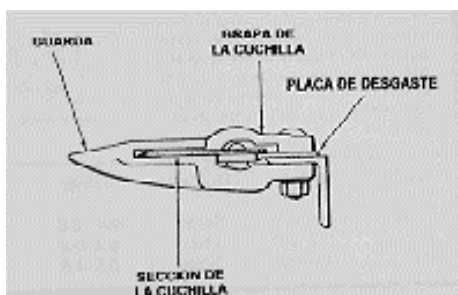


Figura 2.4 vista seccional de una barra de corte

2.3.1.3. Conductor transversal

El sinfín transporta las plantas cortadas sobre la plataforma hacia el centro de la combinada donde el embocador esta localizado. Para introducir el material al embocador se usan dedos retractiles ajustables que en nuestro medio es costumbre reemplazarlos por pedazos de platina, ángulos, etc. o simplemente extienden la aleta del caracol, eliminando así el sistema de entrada regulada del material y produciendo una entrega muy regular a la cadena alimentadora y posteriormente al sistema de trilla.

El conductor transversal consiste en un gusano derecho, un gusano izquierdo y una parte central en dedos retractiles.

2.3.1.4. Conductor de alimentación.

El conductor de alimentación consiste en tres cadenas equipadas con varillas o listones formando una banda transportadora. La tensión de las cadenas se ajusta de manera tal que las varillas no toquen el fondo de la caja del conductor.

En la entrada, la luz entre las varillas y el fondo de la caja del conductor debe ser aproximadamente de 0.3 hasta 0.5 para granos en general. En el caso de maíz, se debe ajustar esta luz hasta aproximadamente 1.8 cm.

Mediante la estructura o caja del conductor, la plataforma va conectada al chasis de la maquina por medio de los cojinetes. El conjunto de la plataforma puede girar alrededor de estos cojinetes, por medio de un sistema hidráulico. Este mecanismo se utiliza cuando el operador desea levantar o bajar la plataforma.

2.4.1. Consideraciones para el diseño del cabezal

2.4.1. Análisis cinemático del mecanismo manivela-biela-corredera

Ecuación de posición

$$r_2 \cdot e^{i\theta_2} + r_3 \cdot e^{i\theta_3} = x + ih \quad h = \text{constante} \quad (2)$$

Análisis de posición

Escribiendo la ecuación (2) en componentes

$$x + ih = r_2(\cos \theta_2 + i \operatorname{sen} \theta_2) + r_3(\cos \theta_3 + i \operatorname{sen} \theta_3) \quad (3)$$

Igualando las partes real e imaginaria de la ecuación (3)

$$x = r_2 \cos \theta_2 + r_3 \cos \theta_3$$

(4)

$$h = r_2 \operatorname{sen} \theta_2 + r_3 \operatorname{sen} \theta_3 \quad (5)$$

De la ecuación (4) se obtiene

$$\theta_3 = \operatorname{arcsen} \left(\frac{h - r_2 \operatorname{sen} \theta_2}{r_3} \right) \quad (6)$$

Llevando este valor a (4), se obtiene x.

$$x = r_2 \cos \theta_2 + r_3 \cos \left[\operatorname{arcsen} \left(\frac{h - r_2 \operatorname{sen} \theta_2}{r_3} \right) \right] \quad (7)$$

Análisis de velocidades

Ecuación de velocidades

$$r_2 \omega_2 (ie^{i\theta_2}) + r_3 \omega_3 (ie^{i\theta_3}) = \dot{x} \quad (8)$$

Escribiendo la ecuación (8) en componentes:

$$r_2 \omega_2 (\cos \theta_2 + i \operatorname{sen} \theta_2) + r_3 \omega_3 (\cos \theta_3 + i \operatorname{sen} \theta_3) = \dot{x} + 0i \quad (9)$$

Igualando la parte real e imaginaria de la ecuación (9):

$$\dot{x} = r_2 \omega_2 \operatorname{sen} \theta_2 - r_3 \omega_3 \operatorname{sen} \theta_3 \quad (10)$$

$$0 = r_2 \omega_2 \cos \theta_2 + r_3 \omega_3 \cos \theta_3 \quad (11)$$

La ecuación (11) permite hallar ω_3

$$\ddot{\theta}_3 = -\ddot{\theta}_2 \frac{r_2 \cos \theta_2}{r_3 \cos \theta_3} \quad (12)$$

Sustituyendo en (10) se obtiene \ddot{x}

$$\ddot{x} = r_2 \frac{r_2 \cos \theta_2}{r_3 \cos \theta_3} \text{sen} \theta_2 - r_3 \frac{r_2 \cos \theta_2}{r_3 \cos \theta_3} \text{sen} \theta_3 \quad (11)$$

Ecuaciones de aceleraciones

$$r_2 (i\ddot{\theta}_2 - \dot{\theta}_2^2) e^{i\theta_2} + r_3 (i\ddot{\theta}_3 - \dot{\theta}_3^2) e^{i\theta_3} = \ddot{x} \quad (12)$$

Análisis de aceleraciones

Escribiendo la ecuación (12) en componentes:

$$\begin{aligned} & r_2 \ddot{\theta}_2 (\cos \theta_2 + i \text{sen} \theta_2) - r_2 (\dot{\theta}_2)^2 (\cos \theta_2 + i \text{sen} \theta_2) + \\ & r_3 \ddot{\theta}_3 (\cos \theta_3 + i \text{sen} \theta_3) - r_3 (\dot{\theta}_3)^2 (\cos \theta_3 + i \text{sen} \theta_3) = \ddot{x} \quad (13) \\ & \left[-r_2 \ddot{\theta}_2 \text{sen} \theta_2 - r_2 (\dot{\theta}_2)^2 \cos \theta_2 - r_3 \ddot{\theta}_3 \text{sen} \theta_3 - r_3 (\dot{\theta}_3)^2 \cos \theta_3 \right] + \\ & i \left[r_2 \ddot{\theta}_2 \cos \theta_2 - r_2 (\dot{\theta}_2)^2 \text{sen} \theta_2 - r_3 \ddot{\theta}_3 \cos \theta_3 - r_3 (\dot{\theta}_3)^2 \text{sen} \theta_3 \right] = \ddot{x} + 0i \end{aligned}$$

Separando la parte real e imaginaria de (13)

$$\ddot{x} = -r_2 \left[\ddot{\theta}_2 \text{sen} \theta_2 + r_2 (\dot{\theta}_2)^2 \cos \theta_2 \right] - r_3 \left[\ddot{\theta}_3 \text{sen} \theta_3 + r_3 (\dot{\theta}_3)^2 \cos \theta_3 \right] \quad (14)$$

$$0 = r_2 \left[r_2 \ddot{\theta}_2 \cos \theta_2 - r_2 (\dot{\theta}_2)^2 \text{sen} \theta_2 \right] + r_3 \left[\ddot{\theta}_3 \cos \theta_3 - (\dot{\theta}_3)^2 \text{sen} \theta_3 \right] \quad (15)$$

De la ecuación (15) puede despejarse

$$\ddot{\theta}_3 = \frac{r_2 \left[(\dot{\theta}_2)^2 \text{sen} \theta_2 - \ddot{\theta}_2 \cos \theta_2 \right]}{r_3 \cos \theta_3} + \frac{(\dot{\theta}_3)^2 \text{sen} \theta_3}{\cos \theta_3} \quad (16)$$

2.4.2. Análisis cinemático del mecanismo de cuatro barras

Ecuación de posición

$$r_2 e^{i\theta_2} + r_3 e^{i\theta_3} = r_1 + r_4 e^{i\theta_4} \quad (17)$$

Análisis de posición

La determinación de los ángulos θ_3 y θ_4 podría hacerse a partir de la ecuación (17), pero las relaciones trigonométricas que se derivan de la misma son muy complejas.

Para ello, Raven propuso el método de las ecuaciones de posición independientes, que establece un camino alternativo entre los puntos interesantes.

En este caso se puede trazar el vector complejo auxiliar \vec{r}_e , con lo que se

tendrá

$$\vec{r}_e = \vec{r}_1 - \vec{r}_2 \quad (18)$$

$$\vec{r}_e (e^{i\theta_e}) = r_1 (e^{i\theta_1}) - r_2 (e^{i\theta_2}) = r_1 - r_2 (e^{i\theta_2}) \quad (19)$$

En componentes

$$r_e (\cos \theta_e + i \operatorname{sen} \theta_e) = r_1 - r_2 (\cos \theta_2 + i \operatorname{sen} \theta_2) \quad (20)$$

Igualando parte real e imaginaria:

$$r_e \cos \theta_e = r_1 - r_2 \cos \theta_2 \quad (21)$$

$$r_e \operatorname{sen} \theta_e = -r_2 \operatorname{sen} \theta_2 \quad (22)$$

Elevando al cuadrado las ecuaciones (21) y (22) y sumándolas:

$$r_e^2 = r_1^2 + r_2^2 - 2r_1 r_2 \cos \theta_2 \quad (\text{teorema del coseno}) \quad (23)$$

De la ecuación (22)

$$\operatorname{sen} \theta_e = -\frac{r_2 \operatorname{sen} \theta_2}{r_e} = -\frac{r_2 \operatorname{sen} \theta_2}{\sqrt{r_1^2 + r_2^2 - 2r_1 r_2 \cos \theta_2}}$$

(24)

Expresión que permite hallar θ_e . También se puede escribir:

$$\vec{r}_3 = \vec{r}_e - \vec{r}_4 \quad (25)$$

Que conduce a:

$$r_3 \cos \theta_3 = r_e \cos \theta_e + r_4 \cos \theta_4 \quad (26)$$

$$r_3 \operatorname{sen} \theta_3 = r_e \operatorname{sen} \theta_e + r_4 \operatorname{sen} \theta_4 \quad (27)$$

Elevando al cuadrado las ecuaciones (26) y (27) y sumando:

$$\begin{aligned} r_3^2 &= r_e^2 + r_4^2 - 2r_e r_4 (\cos \theta_e \cos \theta_4 + \operatorname{sen} \theta_e \operatorname{sen} \theta_4) \\ &= r_e^2 + r_4^2 - 2r_e r_4 \cos(\theta_e - \theta_4) \end{aligned} \quad (28)$$

De donde

$$\cos(\theta_e - \theta_4) = \frac{r_3^2 + r_e^2 - r_4^2}{2r_e r_3} \quad (29)$$

Expresión que permite hallar θ_4

Volviendo a escribir las ecuaciones (26) y (27) en la forma:

$$r_4 \cos \theta_4 = r_3 \cos \theta_3 - r_e \cos \theta_e \quad (30)$$

$$r_4 \operatorname{sen} \theta_4 = r_3 \operatorname{sen} \theta_3 - r_e \operatorname{sen} \theta_e \quad (31)$$

Elevando al cuadrado las ecuaciones (30) y (31) y sumando se obtiene:

$$\cos(\theta_3 - \theta_e) = \frac{r_3^2 + r_e^2 - r_4^2}{2r_e r_3} \quad (32)$$

Expresión que permite hallar θ_3

Las ecuaciones (23), (29) y (32) permiten el análisis posicional del mecanismo, en función de θ_2 .

Ecuación de velocidades

$$r_2 \dot{\theta}_2 (e^{i\theta_2}) + r_3 \dot{\theta}_3 (e^{i\theta_3}) = r_4 \dot{\theta}_4 (e^{i\theta_4}) \quad (33)$$

Análisis de velocidades

Escribiendo la ecuación (33) en componentes, se tiene:

$$r_2 \dot{\theta}_2 (\cos \theta_2 + i \operatorname{sen} \theta_2) + r_3 \dot{\theta}_3 (\cos \theta_3 + i \operatorname{sen} \theta_3) = r_4 \dot{\theta}_4 (\cos \theta_4 + i \operatorname{sen} \theta_4) \quad (34)$$

$$r_2 \dot{\theta}_2 (i \cos \theta_2 - \operatorname{sen} \theta_2) + r_3 \dot{\theta}_3 (i \cos \theta_3 - \operatorname{sen} \theta_3) = r_4 \dot{\theta}_4 (i \cos \theta_4 - \operatorname{sen} \theta_4) \quad (35)$$

Igualando parte real e imaginaria en la ecuación (35):

$$r_2 \dot{\theta}_2 \operatorname{sen} \theta_2 + r_3 \dot{\theta}_3 \operatorname{sen} \theta_3 = r_4 \dot{\theta}_4 \operatorname{sen} \theta_4 \quad (36)$$

$$r_2 \dot{\theta}_2 \cos \theta_2 + r_3 \dot{\theta}_3 \cos \theta_3 = r_4 \dot{\theta}_4 \cos \theta_4 \quad (37)$$

Escribiendo las ecuaciones (36) y (37) en función de θ_2 , queda:

$$-r_3 \dot{\theta}_3 \operatorname{sen} \theta_3 + r_4 \dot{\theta}_4 \operatorname{sen} \theta_4 = r_2 \dot{\theta}_2 \operatorname{sen} \theta_2 \quad (38)$$

$$-r_3 \dot{\theta}_3 \cos \theta_3 + r_4 \dot{\theta}_4 \cos \theta_4 = r_2 \dot{\theta}_2 \cos \theta_2$$

(39)

Resolviendo por el método de Cramer el sistema definido por las ecuaciones (38) y (39)

$$\dot{\theta}_3 = \frac{\begin{vmatrix} r_2 \dot{\theta}_2 \operatorname{sen} \theta_2 & r_4 \operatorname{sen} \theta_4 \\ r_2 \dot{\theta}_2 \cos \theta_2 & r_4 \cos \theta_4 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} -r_3 \operatorname{sen} \theta_3 & r_4 \operatorname{sen} \theta_4 \\ r_3 \cos \theta_3 & r_4 \cos \theta_4 \end{vmatrix}} = -\frac{r_2}{r_3} \dot{\theta}_2 \frac{\operatorname{sen}(\theta_4 - \theta_2)}{\operatorname{sen}(\theta_4 - \theta_3)} \quad (40)$$

En forma análoga se llegaría

$$\theta_4 = -\frac{r_2}{r_4} \frac{\theta_2 \operatorname{sen}(\theta_3 - \theta_2)}{\operatorname{sen}(\theta_4 - \theta_3)} \quad (41)$$

Recordando que $i = e^{i\frac{\pi}{2}}$, se tiene:

$$\vec{v}_B = \vec{v}_4 = r_4 \cdot \theta_4 (ie^{i\theta_4}) = r_4 \cdot \theta_4 e^{i(\theta_4 + \frac{\pi}{2})} \quad (42)$$

Cuyo modulo vale $|\vec{v}_B| = r_4 \theta_4$ y cuya dirección es perpendicular a r_4 , al ser el segmento $(\theta_4 + \frac{\pi}{2})$.

La velocidad de cualquier otro punto tal como el G, se calcula inmediatamente.

$$r_G = r_2 + r_g = r_2 (e^{i\theta_2}) + r_g (e^{i\theta_3}) \quad (43)$$

$$v_G = \vec{v}_g = r_2 \cdot \theta_2 (e^{i\theta_2}) + r_g \cdot \theta_3 (e^{i\theta_3}) \quad (44)$$

En componentes

$$\vec{v}_G = (-r_2 \theta_2 \operatorname{sen} \theta_2) + (r_2 \theta_2 \cos \theta_2) i + (r_g \theta_3 \cos \theta_3) + (r_g \theta_3 \operatorname{sen} \theta_3) i \quad (45)$$

$$\vec{v}_G = (-r_2 \theta_2 \operatorname{sen} \theta_2 + r_g \theta_3 \operatorname{sen} \theta_3) + i(r_2 \theta_2 \cos \theta_2 + r_g \theta_3 \cos \theta_3) \quad (46)$$

Abreviadamente

$$\vec{v}_g = a_g + i b_g \quad (47)$$

El modulo de \vec{v}_g será:

$$|\vec{v}_g| = \sqrt{a_g^2 + b_g^2} \quad (48)$$

El ángulo β con el eje será:

$$\text{tag}(\beta) = \frac{b_g}{a_g} \quad (49)$$

Ecuaciones de aceleraciones

$$r_2(i\dot{\theta}_2 - \dot{\theta}_2^2)(e^{i\theta_2}) + r_3(i\dot{\theta}_3 - \dot{\theta}_3^2)(e^{i\theta_3}) = r_4(i\dot{\theta}_4 - \dot{\theta}_4^2)(e^{i\theta_4}) \quad (50)$$

Análisis de aceleraciones

La ecuación (50) se puede escribir:

$$r_2\dot{\theta}_2^2(e^{i\theta_2}) - r_2\dot{\theta}_2^2(e^{i\theta_2}) + r_3\dot{\theta}_3^2(e^{i\theta_3}) - r_3\dot{\theta}_3^2(e^{i\theta_3}) = r_4\dot{\theta}_4^2(e^{i\theta_4}) - r_4\dot{\theta}_4^2(e^{i\theta_4}) \quad (51)$$

En componentes

$$r_2\dot{\theta}_2^2(i \cos \theta_2 - \text{sen} \theta_2) - r_2\dot{\theta}_2^2(\cos \theta_2 + i \text{sen} \theta_2) + r_3\dot{\theta}_3^2(i \cos \theta_3 - \text{sen} \theta_3) - r_3\dot{\theta}_3^2(i \cos \theta_3 + \text{sen} \theta_3) = r_4\dot{\theta}_4^2(i \cos \theta_4 - \text{sen} \theta_4) - r_4\dot{\theta}_4^2(\cos \theta_4 - i \text{sen} \theta_4) \quad (52)$$

Igualando las partes reales e imaginarias

$$-r_2\dot{\theta}_2^2 \text{sen} \theta_2 - r_2\dot{\theta}_2^2 - r_3\dot{\theta}_3^2 \text{sen} \theta_3 - r_3\dot{\theta}_3^2 \text{sen} \theta_3 = -r_4\dot{\theta}_4^2 \text{sen} \theta_4 - r_4\dot{\theta}_4^2 \text{sen} \theta_4 \quad (53)$$

$$-r_2\dot{\theta}_2^2 \cos \theta_2 - r_2\dot{\theta}_2^2 - r_3\dot{\theta}_3^2 \cos \theta_3 - r_3\dot{\theta}_3^2 \cos \theta_3 = -r_4\dot{\theta}_4^2 \cos \theta_4 - r_4\dot{\theta}_4^2 \cos \theta_4 \quad (54)$$

Arreglando las ecuaciones (53) y (54) para despejar $\dot{\theta}_3$ y $\dot{\theta}_4$, queda

$$(-r_3 \text{sen} \theta_3) \cdot \theta_3 + (r_4 \text{sen} \theta_4) \cdot \theta_4 = \quad (55)$$

$$(r_2 \theta_2 \text{sen} \theta_2 + r_2 \theta_2 \cos \theta_2 + r_3 \theta_3 \cos \theta_3 - r_4 \theta_4 \cos \theta_4)$$

$$(-r_3 \cos \theta_3) \cdot \theta_3 + (-r_4 \cos \theta_4) \cdot \theta_4 =$$

$$(-r_2 \theta_2 \cos \theta_2 + r_2 \theta_2 \text{sen} \theta_2 + r_3 \theta_3 \text{sen} \theta_3 - r_4 \theta_4 \text{sen} \theta_4) \quad (56)$$

Abreviadamente

$$(-r_3 \text{sen} \theta_3) \cdot \theta_3 + (-r_4 \text{sen} \theta_4) \cdot \theta_4 = A \quad (57)$$

$$(+r_3 \cos \theta_3) \cdot \theta_3 + (-r_4 \cos \theta_4) \cdot \theta_4 = B \quad (58)$$

Resolviendo por el método de Cramer el sistema definido por las ecuaciones (57) y (58):

$$\theta_4 = \frac{\begin{vmatrix} A & r_4 \text{sen} \theta_4 \\ B & r_4 \cos \theta_4 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} -r_3 \text{sen} \theta_3 & r_4 \text{sen} \theta_4 \\ r_3 \cos \theta_3 & -r_4 \cos \theta_4 \end{vmatrix}} = -\frac{1}{r_3} \cdot \frac{(A \cos \theta_4 + B \text{sen} \theta_4)}{\text{sen}(\theta_3 - \theta_4)}$$

(59)

Igualmente:

$$\theta_4 = -\frac{1}{r_4} \cdot \frac{(A \cos \theta_3 + B \text{sen} \theta_3)}{\text{sen}(\theta_4 - \theta_3)}$$

(60)

2.4.3. Fuerzas debido a la inercia de una cuchilla de corte.

Las segadoras comúnmente requieren un máximo de 1 hp por pie de ancho para la barra de corte así la carga es ligera y las limitaciones sobre la velocidad de operación son menos bruscas. La mayoría de las segadoras son operadas a 900 rpm. Con una velocidad de avance de 3 pulgadas por carrera, esto permite una velocidad de aproximadamente 5.1 MPH con corte limpio aceptable bajo condiciones normales (Richey 1961).

La formula aproximada para calcular la fuerza de inercia de la cuchilla es la siguiente:

$$F_h = 2.84WN^2 \left(\cos \theta + \frac{r}{l} \cos 2\theta + \frac{h}{l} \sin \theta \right) (10^{-5}) \quad (61)$$

Donde F_h = Fuerza de aceleración, lb

W = peso de la cuchilla, lb

r = radio de la manivela, in

N = velocidad de la manivela, rpm

θ = ángulo entre la manivela y el eje horizontal, grados

l = longitud de la biela, in

h = distancia de centro de la manivela al punto de conexión de la cuchilla, in

2.4.4. Elementos de transmisión por cadena

Los mecanismos de cadenas y ruedas dentadas son aquellos encargados de transmitir movimiento de rotación entre los árboles paralelos, por medio del empuje generado entre los dientes de las ruedas y eslabones de cadena (Calero 1998). El mecanismo consta de dos ruedas dentadas de cadena y un

miembro deformable formado por una serie de eslabones rígidos que pueden tener un giro relativo entre ellos.

Diseño del mecanismo.

Generalmente, el proceso de diseño incluye los siguientes pasos:

1. Decidir.
 - Potencia a transmitir
 - Velocidad de la rueda pequeña
 - Velocidad de la rueda grande
 - Distancia aproximada entre centros de ruedas, o la máxima y mínima permisible
 - Condiciones de funcionamiento
 - Tipo de maquina accionada
 - Horas de funcionamiento previstas
2. Elección del numero de dientes en la rueda menor
3. calculo del numero de dientes de la rueda mayor a partir de la relación de transmisión
4. Elección de un paso normalizado.
5. determinación del numero de eslabones de la cadena
6. determinación de la potencia transmitible por cadena, en función del paso, la vida deseada y el numero de revoluciones de la rueda menor
7. Corrección de la potencia transmitible en función de la maquina accionada, maquina motriz, tipo de servicio y numero de cadenas.

La relación de transmisión se determina por la siguiente ecuación

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{Z_2}{Z_1} \quad (62)$$

El numero de eslabones se determina de la expresión

$$n_e = \frac{2L}{t} + \frac{Z_1 + Z_2}{2} + \left[\frac{Z_2 - Z_1}{2\pi} \right]^2 \cdot \frac{t}{L_a} \quad (63)$$

Ecuación para determinar la distancia entre centros de la cadena

$$L = \frac{t}{4} \left[n_e - \frac{Z_1 + Z_2}{2} + \left[\left[n_e - \frac{Z_1 + Z_2}{2} \right]^2 - 2 \left[\frac{Z_2 - Z_1}{\pi} \right]^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right] \quad (64)$$

Donde:

n_1 = velocidad de entrada en rpm

n_2 = velocidad de salida en rpm

Z_1 = numero de dientes de la rueda menor

Z_2 = numero de dientes la rueda mayor

t = paso de la cadena

L_a = longitud aproximada de la cadena

L = longitud exacta de la cadena

n_e = numero de eslabones

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Descripción del cabezal de corte.

La primera etapa de desarrollo fue la construcción del cabezal con todos sus componentes.

Se desarrollo y construyo un prototipo de cabezal para cosecha directa de frijol de 1.20 metros de ancho, acoplada a los tres puntos de enganche del tractor, operados sus mecanismos mediante el sistema hidráulico de control

remoto. El equipo desarrollado se encuentra integrado por las siguientes unidades:

- Una unidad de corte con guardas individuales y cuchillas recíprocas con una carrera de 50 mm y velocidad ajustable de 0 a 640 rpm.
- Un papalote con 6 barras de arrastre de cultivo, levas de orientación de corte de follaje, con ajuste de su velocidad tangencial ajustable de trabajo de 0 a 3 metros por segundo.
- Guardas individuales con y sin cerdas levantadoras.

En la Figuras 4.1 y 4.2 se muestran cada uno de las unidades que componen el cabezal de corte.



Figura 4.1 Papalote de cabezal de corte.



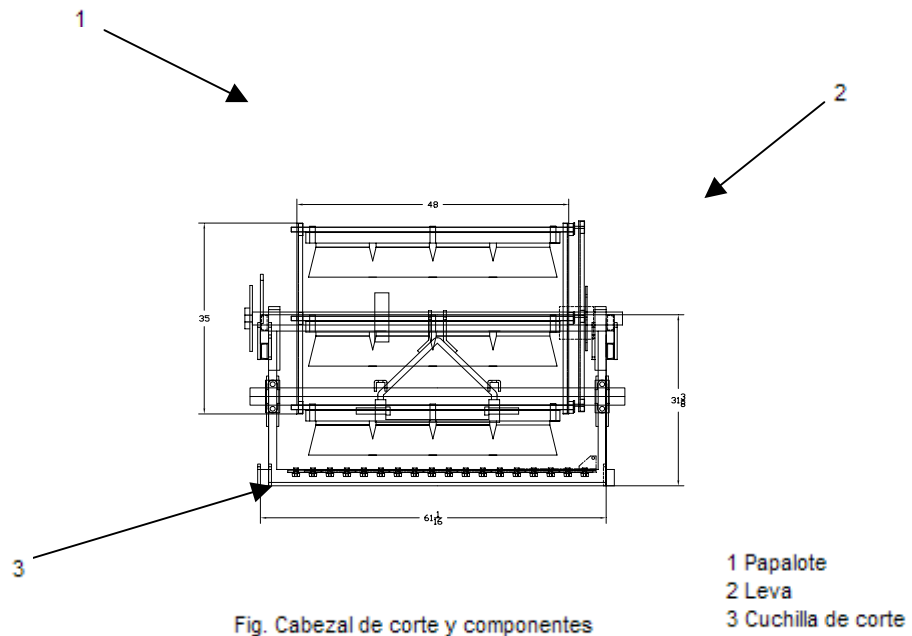
Figura 4.2. Mecanismo de la leva.



Figura 4.3. Cerdas adheridas sobre las guardas.



Figura 4.4. Vista superior de las guardas.



4.2. Diferencias fenotípicas entre variedades

El análisis de varianza ANVA (Tabla 4.1) muestra cifras altamente significativas en relación a las diferencias fenotípicas entre alturas de horquetas sobre la superficie del suelo.

Tabla 4.1 Análisis de varianza de alturas de horquetas para las 6 variedades de fríjol.

FV	GL	SC	CM	F	F05	F01
----	----	----	----	---	-----	-----

TRATAMIENTOS	5	54.431152	10.886230	7.2421**	4.13	4.92
BLOQUES	19	25.493164	1.341745	0.8926		
ERROR	95	142.803223	1.503192			
TOTAL	119	222.727539				

C.V. = 17.47%

Comparación de medias con la prueba de Tukey con un nivel de significancia $\alpha=0.01$

La tabla 4.2 muestra la comparación de medias de alturas de horquetas para cada una de las variedades de frijol.

Tabla 4.2. Comparación de medias para las alturas de horquetas de las variedades de frijol.

TRATAMIENTO	MEDIA
VARIEDAD DESCONOCIDA	7.6850 A
NEGRO NAYARIT	7.3450 A
NEGRO COTAXTLA	7.2650 A
NEGRO MEDELLIN	7.1700 A
A55	7.0750 A
DOR 454	5.5750 B

La tabla de resultados de comparación de medias respecto a la diferencias entre alturas de horquetas de las variedades confirmo que el promedio de altura para las variedades DESCONOCIDA, NEGRO NAYARIT, COTAXTLA, MEDELLIN y A55 fue de 73 mm con respecto al suelo, mientras que para la variedad DOR 454 el promedio fue 55.7 mm. El análisis indica que existió poca diferencia en lo que respecta a las alturas de horquetas de las variedades.

La tabla 4.3 muestra el análisis de varianza de alturas de vainas con respecto al suelo para las 6 variedades evaluadas.

Tabla 4.3 Análisis de varianza de alturas de vainas

FV	GL	SC	CM	F	F ₀₅	F ₀₁
TRATAMIENTOS	5	370.908447	74.181686	23.8317	4.13	4.92
BLOQUES	19	82.359131	4.334691	1.3926		
ERROR	95	295.709717	3.112734			
TOTAL	119	748.977295				

C.V. = 41.37%

La tabla 4.4 muestra la comparación de medias con la prueba de Tukey con un nivel de significancia $\alpha=0.01$

Tabla 4.4 Comparación de medias de alturas de vainas

TRATAMIENTO	MEDIA
A55	6.9550 A
NEGRO NAYARIT	6.1750 A
VARIEDAD DESCONOCIDA	3.8100 B
NEGRO COTAXTLA	3.6250 B
NEGRO MEDELLIN	3.1750 BC
DOR 454	1.8450 C

La tabla de comparación de medias con respecto a la altura de vainas sobre el suelo, señalo que las variedades A55 y NEGRO NAYARIT tuvieron un promedio de altura de 65 mm, 37 mm para las variedades DESCONOCIDA y COTAXTLA, mientras que para las variedades NEGRO COTAXTLA y MEDELLIN 34 mm, y finalmente con un promedio mas bajo de 18.4 mm para la variedad DOR 454. Este análisis muestra que la diferencia entre alturas de vainas es variable para cada variedad.

4.3. Resultados de la evaluación en laboratorio con guardas sin cerdas levantadoras.

La primera fase de las pruebas de laboratorio fueron realizadas con 6 materiales de frijol (NEGRO NAYARIT, COTAXTLA, A55, DOR 454, VARIEDAD DESCONOCIDA Y NEGRO MEDELLIN) Fig. , con una altura de corte de 80 mm. Esta fase de pruebas de laboratorio se realizó sin cerdas levantadoras en las guardas de la cuchilla de corte (Figura 4.6).



Figura 4.6. Pruebas de evaluación en laboratorio sin utilizar cerdas en las guardas

El Análisis de Varianza (Tabla 4.5) muestra una diferencia altamente significativa en la relación a las pérdidas de grano por variedad de frijol evaluadas.

Tabla 4.5. Análisis de Varianza para 6 variedades de frijol, bajo condiciones de laboratorio usando guardas sin cerdas levantadoras.

FV	GL	SC	CM	F	F ₀₅	F ₀₁
----	----	----	----	---	-----------------	-----------------

TRATAMIENTOS	5	24117.367188	4823.473633	34.7786	4.13	4.92
BLOQUES	19	2761.367188	145.335114	1.0479		
ERROR	95	13175.632813	138.690872			
TOTAL	119	40054.367188				

C.V. = 41.74%

La tabla 4.6 muestra la comparación de medias con la prueba de Tukey con un nivel de significancia $\alpha = 0.01$

Tabla 4.6. Comparación de medias para las 6 variedades de frijol en condiciones de laboratorio utilizando guardas sin cerdas.

TRATAMIENTO	MEDIA
DOR 454	50.2000 A
NEGRO MEDELLIN	42.9000 A
VARIEDAD DESCONOCIDA	26.2000 B
NEGRO COTAXTLA	22.3000 B
NEGRO NAYARIT	19.1000 BC
A55	8.6000 C

La tabla de resultados de comparación de medias en lo que respecta a las pérdidas por corte directo entre las variedades de frijol, van desde el 47% para los materiales DOR 454 y NEGRO MEDELLIN, del 24% para DESCONOCIDA y COTAXTLA, del 19% para el NEGRO NAYARIT, y 9% para A55. En esta primera fase se pudo apreciar que el factor principal de pérdidas fue la altura de las vainas con respecto a la cuchilla de corte, seguido por la altura de los bastidores que sujetan las plantas contra la barra

de corte, no teniendo efecto en las pérdidas la velocidad de impacto de las cuchillas.

4.4. Evaluación utilizando cerdas con guardas protectoras.

Esta fase de evaluación se realizó en laboratorio utilizando cerdas levantadoras sobre las guardas de la cuchilla de corte (Figuras 4.7 y 4.8) y con alturas variables de las vainas con respecto a la cuchilla en rangos de 0.0, -20.0, -40.0 y -60.0 mm (el signo negativo indica que las alturas de corte están por debajo de la cuchilla).

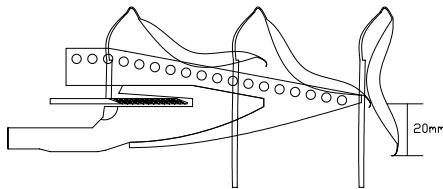


Figura 4.7. Vainas levantadas por cerdas adheridas



Figura 4.8. Evaluación en laboratorio utilizando cerdas levantadoras

El Análisis de Varianza (Tabla 4.7) muestra una diferencia altamente significativa en la relación a las pérdidas por variedad.

Tabla 4.7. Análisis de Varianza de pérdidas para las 4 alturas de corte, bajo condiciones de laboratorio usando guardas con cerdas levantadoras.

FV	GL	SC	CM	F	F ₀₅	F ₀₁
TRATAMIENTOS	3	1093.250000	364.416656	4.0990	3.78	4.69
BLOQUES	14	1962.399902	140.171417	1.5766		
ERROR	42	3734.000000	88.904762			
TOTAL	59	6789.649902				

C.V. = 88.53%

La tabla 4.8 muestra la comparación de medias con la prueba de Tukey con un nivel de significancia $\alpha = 0.01$

Tabla 4.8 Comparación de medias para las 4 alturas de corte bajo condiciones de laboratorio usando cerdas.

TRATAMIENTO	MEDIA
60 mm	15.5333 A
20 mm	11.9333 AB
40 mm	11.3333 AB
0 mm	3.8000 B

Los resultados de la comparación de medias muestran que para una altura de vaina de 0 mm sobre la cuchilla de corte se obtuvo una pérdida del 4% comparada con el 12% para el rango de 20 a 40 mm y del 25% para la altura de 60 mm. Nuevamente el factor de las diferencias de altura, influyó sobre el porcentaje de pérdidas.

4.5. Evaluación en campo del cabezal de corte

La fase de pruebas hechas en campo fueron realizadas con 5 variedades de frijol (NEGRO NAYARIT, NEGRO COTAXTLA, A55, DOR 454 y DESCONOCIDA) con altura de corte de 80 mm y sin cerdas levantadoras en las guardas de la cuchilla de corte (Figuras 4.9 y 4.10).



Figura 4.9. Evaluación del cabezal en campo
Figura



4.10. Plantas después del corte

El Análisis de Varianza (Tabla 4.9) muestra un comportamiento significativo, en la relación a las pérdidas de grano por variedad.

Tabla 4.9. Análisis de Varianza de pérdidas para las 5 variedades de frijol, bajo condiciones de campo usando guardas sin cerdas levantadoras.

FV	GL	SC	CM	F	F ₀₅	F ₀₁
TRATAMIENTOS	4	2483.192383	620.798096	9.7356	0.0	0.4
BLOQUES	2	70.206055	35.103027	0.5505	0.6	0.1
ERROR	8	510.126953	63.765869			
TOTAL	14	3063.525391				

C.V. = 26.34%

La tabla 4.10 muestra la comparación de medias con la prueba de Tukey con un nivel de significancia $\alpha = 0.01$

Tabla 4.10 Comparación de medias para las 5 variedades de frijol en condiciones de campo sin usar cerdas levantadoras.

TRATAMIENTO	MEDIA
DOR 454	41.7333 A
DESCONOCIDA	37.1000 A
A55	35.6667 A
NEGRO COTAXTLA	31.7000 A
NEGRO NAYARIT	5.4000 B

En relación a las pérdidas por variedad bajo condiciones de campo muestra que las variedades DOR, DESCONOCIDA, A55 y COTAXTLA, tienen en promedio una pérdida del 35%, en comparación con la variedad NEGRO NAYARIT con una pérdida de 5%.

En esta fase varios factores importantes influyeron, pero el factor de pérdidas mas importante fue la altura de las vainas con respecto del suelo, debido a las diferencias fenotípicas entre variedades.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se determinaron los parámetros de diseño como el espesor de las cerdas adheridas sobre las guardas protectoras, también el espesor de las cerdas de los cepillos barredores, dimensiones de las guardas protectoras, alturas de corte más adecuada, posición del cepillo en la parte mas baja con respecto de la cuchilla de corte.
- En la evaluación del cabezal en laboratorio usando guardas sin cerdas levantadoras, se encontró que las variedades DOR 454, MEDELLIN, VARIEDAD DESCONOCIDA, NEGRO COTAXTLA y NEGRO NAYARIT no fueron aptas para corte directo, debido a que presentaron un porcentaje de perdidas por arriba del 15%, resultado de las características genotípicas de alturas de vainas muy cerca del suelo: por el contrario, con muy buenas condiciones para corte directo fue la variedad A55.
- Para la evaluación del cabezal bajo condiciones de laboratorio usando guardas con cerdas levantadoras, se determino que las alturas de corte de 0.0, -20.0 y -40 mm son las mas aptas para corte directo, muestra de que presentaron una cantidad de perdidas por debajo del 15%.
- La evaluación realizada en condiciones de campo, determino que, las plantas deben ser sembradas con mínima labranza para evitar la obstrucción de los terrones al momento de la cosecha. También se deben realizar pruebas en campo utilizando cerdas levantadoras sobre las guardas protectoras.

- Es recomendable que se desarrollen variedades tales como A55 y NEGRO NAYARIT, ya que presentan las alturas de vainas más altas con respecto del suelo y son las más aptas para corte directo.

VI. BIBLIOGRAFIA CITADA

1. Bragachini, M. Peiretti. J. Russi D. 2004. Proyecto de eficiencia de cosecha y postcosecha de granos: nuevo kit de gomas para reducir perdidas por cabezal sojero en soya de bajo porte. Disponible en: http://www.imperiorural.com.ar/imperio/INTA/inta_pergamino/pergamino_28abril04.htm(Revisado el 12 de abril de 2006).
2. Calero P. R.1998. Fundamentos de mecanismos y maquinas para ingenieros. Mc Graw Hill Interamericana. España
3. Chaparro, C. J. M. 1990. Parámetros de operación en las combinadas, Departamento de Ingeniería Agrícola Universidad Nacional de Colombia. Disponible en: [http://www.icfes.gov.co/revistas/ingeinve/No36\(1997\)/art1.html](http://www.icfes.gov.co/revistas/ingeinve/No36(1997)/art1.html) (Revisado el 8 marzo de 2006).
4. Dry bean Quick Tips. Pulse Production Manual. 2000. Saskatchewan Pulse Growers. Disponible en: www.saskpulse.com/media/pdfs/quicktips-bean.pdf(Revisado en marzo de 2006).
5. Kepner, R.A., Bainer and E.L.Barger.1978 Principies of Farm Machinery, 3rd edition.Wesport, CT: AVI Publishing Company Inc.
6. Lepiz I.R.1983. Fríjol en el Noroeste de México, primera edición, SARH, Culiacán, Sinaloa, México.
7. L.E.Zyla, R.L.Kushwaha, A. Vandenberg. A 2002. Development of a new crop lifter for direct cut harvesting dry bean. Canadian Biosystems

Engineering. 44:2.9-2.14. Disponible en: www.engr.usask.ca/societies/csae/protectedpapers/c9933.pdf (Revisado en Febrero de 2006).

8. Maldonado, C. R. 1991. Diseño de una Maquina cosechadora compacta de frijol. Tesis de licenciatura. Universidad de las Americas Puebla. Puebla México.
9. Manuales para Educación Agropecuaria: Cosechadoras de granos. 1982., primera reimpresión. Editorial trillas. México D.F.
10. Papworth L., P Eng., Blaine Metzger, P. Tech Dave Rea, Tech. RL0902. 2004. Harvesting Methods on Direct Solid Seeded Upright Beans (final report). Alberta Agriculture, Food and Rural Development. Disponible en: www.saskpulse.com/media/pdfs/ppm-dry-bean.pdf (Revisado en marzo de 2006).
11. RICHEY.C.B., JACOBSON. P y W. H C. 1961. Agricultural Engineering Handbook. Mc Graw Hill, New York, USA.
12. Salinas, P. R. Acosta G. J. Campos M. S. López. L. S. Ibarra. P. F. 2004. Desarrollo de variedades de frijol aptas para la cosecha directa en condiciones de riego. (Informe de avances de investigación ciclo Verano de 2004 y Otoño-Invierno 2004-2005).
13. Situación actual y perspectiva de la producción de frijol en México. 2005. (Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). Disponible en: www.siap.sagarpa.gob.mx/Publicaciones/Archivos/Frijol90-00.pdf (Revisado en febrero de 2006).

Anuario Estadístico de la Producción Agrícola

1994-2004 / Resumen Nacional / FRIJOL / CICLICOS Y PERENNES / RIEGO + TEMPORAL

Año	Superficie Sembrada (Ha)	Superficie Cosechada (Ha)	Producción (Ton)	Rendimiento (Ton/Ha)	Precio Medio Rural (\$/Ton)	Valor Producción (Pesos)
2003	1,828,397.37	1,714,524.41	1,237,194.74	0.722	5,028.85	6,221,665,480.90
2002	2,027,401.79	1,862,767.48	1,317,530.93	0.707	5,317.68	7,006,213,700.88
2001	1,881,335.28	1,640,125.98	1,017,145.56	0.620	6,173.56	6,279,406,735.70
2000	2,098,862.74	1,482,215.39	876,236.09	0.591	5,197.00	4,553,798,000.20
1999	2,401,364.11	1,705,456.71	1,057,911.52	0.620	5,251.61	5,555,743,819.94
1998	2,376,317.70	2,146,472.10	1,260,657.85	0.587	6,040.76	7,615,329,675.58
1997	2,319,561.00	1,615,057.00	965,055.74	0.598	5,470.61	5,279,438,919.88
1996	2,195,839.70	2,048,397.70	1,349,098.14	0.659	4,264.38	5,753,067,480.04
1995	2,353,750.00	2,040,447.00	1,270,915.00	0.623	2,186.28	2,778,572,717.00
1994	2,385,562.00	2,086,687.00	1,364,239.00	0.654	1,900.74	2,593,064,919.00

FUENTE: Sistema de Información Agropecuaria de Consulta (SIACON).

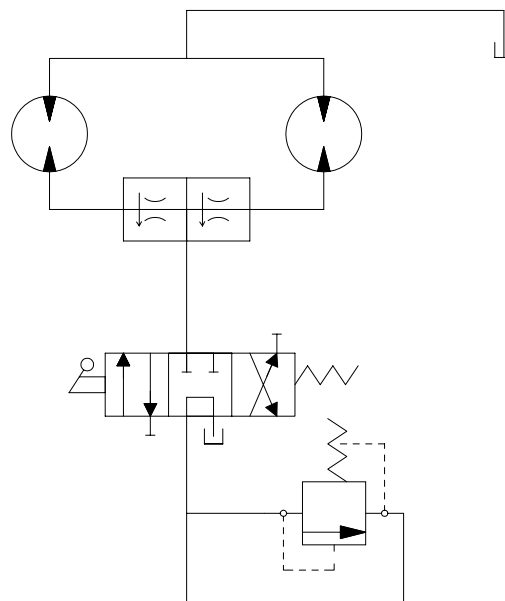


Diagrama hidráulico del cabezal de corte.
Trayectoria descrita por cepillos barreadores del molinete, este punto importante indica que la rampa de levante de plantas debe ser construida de la forma de la misma trayectoria, así mismo se puede apreciar que la parte mas baja de los cepillos se encuentra a 3/16 pulgadas de distancia de las guardas protectoras que el punto mas optimo para corte directo (Figura).

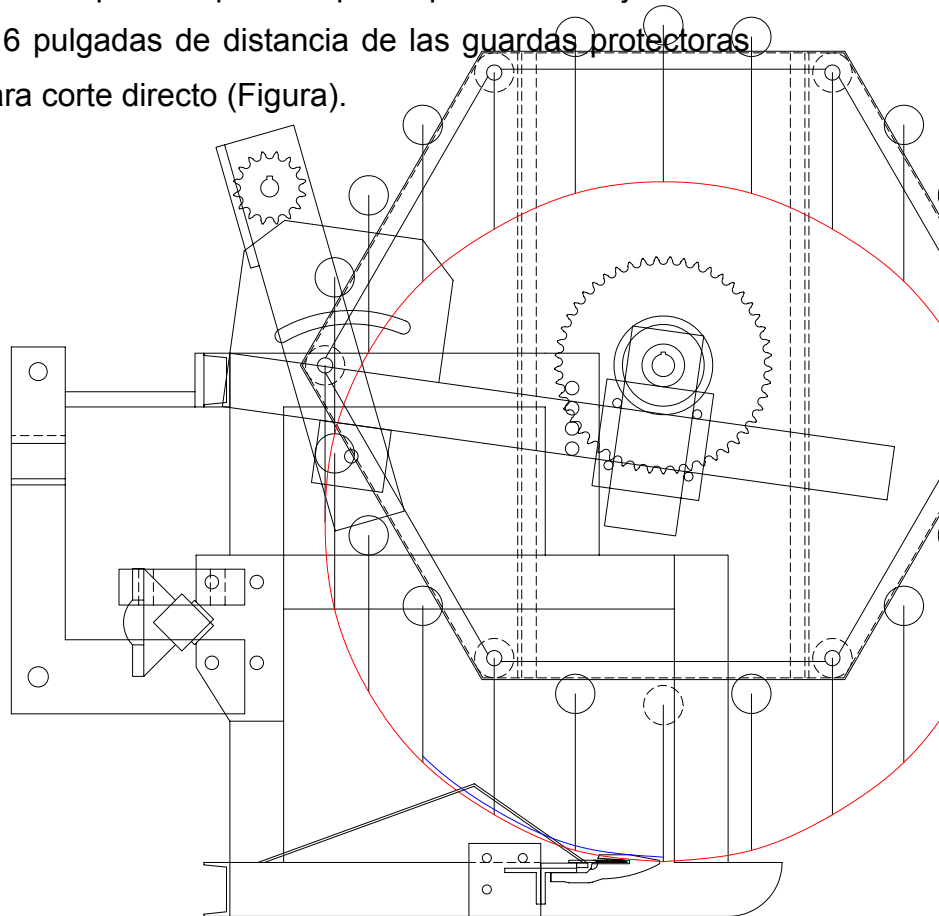


Figura. Trayectoria descrita por los cepillos barredores.