

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA



DISEÑO Y FABRICACIÓN DE PROTOTIPO
DE ARADO DE CINCELES ARTICULADO
PARA AGRICULTURA DE PRECISIÓN

POR:

JUAN GONZÁLEZ MARTÍNEZ

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO
OCTUBRE 2017

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE PROTOTIPO
DE ARADO DE CINCELES ARTICULADO
PARA AGRICULTURA DE PRECISIÓN

POR:

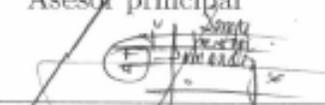
JUAN GONZÁLEZ MARTÍNEZ

TESIS QUE SE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO
EXAMINADOR COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Aprobado por el comité de tesis:


Dr. Santos Gabriel Campos Magaña
Asesor principal


MC. Héctor Uriel Serna Fernández
Coasesor


Ing. Héctor Emilio González Ramírez
Coasesor


Dr. Luis Sámaniego Moreno
Coordinador de la División de Ingeniería

SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO
OCTUBRE 2017

Universidad Autónoma Agraria
"ANTONIO NARRO"



Coordinación de
Ingeniería

Dedicatorias

Te dedico este trabajo: A ti madre querida, Sra. Felicitas Martínez Ángel que estás conmigo en todo momento, en mente, alma, corazón, en las buenas y en las malas gracias a DIOS; brindándome siempre a cambio de nada tu gran apoyo, consejos, paciencia, humildad, cariño y sobre todo tu amor. A ti querido padre, Sr. Willevaldo González Jústo por estar conmigo y por enseñarme muchas cosas buenas, principalmente por hacerme ver la vida de otra manera, gracias papá. Los quiero, los admiro y siempre los llevaré conmigo.

A ustedes queridas hermanas y hermano:

- Yolanda González Martínez
- Rosa González Martínez
- Willevaldo González Martínez

Por el gran apoyo incondicional por parte de cada uno, por la paciencia y el amor que me brindaron en toda mi etapa de formación académica, principalmente en la etapa universitaria.

¡Dedico este trabajo a todos ustedes que estuvieron conmigo a lo largo de mi carrera!. Su hijo y hermano:

Juan González Martínez
Ing. Mecánico Agrícola
Generación CXIV

Agradecimiento

Primeramente agradezco a **DIOS** por haberme dado la vida, por permitirme seguir viviendo y seguir cumpliendo mis objetivos, por darme las ganas de seguir adelante a pesar de todos los obstáculos que se presentan en la vida, por la oportunidad de crecer profesionalmente y sobre todo por darme una familia humilde llena de amor.

A mis padres, por brindarme todo el apoyo y comprensión a lo largo de toda mi carrera así como a mis hermanas y mi hermano y a todas las personas que me apoyaron y estuvieron conmigo en todo momento.

A mi ALMA MATER que más que un plantel educativo fue para mí un hogar en donde me formé como profesionista.

A mis amigos: Daicy Martínez, Marlen Bustos, Reynaldo Pérez, Prisciliano Pérez, Rudy Camposeco, Marcos Faustino, Jorge Asís, Miguel Zamarripa, J. Rubén Hernández. Amigos que compartimos momentos de alegría y compañerismo en la Universidad y en practicas profesionales.

A los profesores: Ing. Juan Arredondo Valdez, Dr. Santos G. Campos Magaña, MC. Juan A. Guerrero Hernández, MC. Héctor U. Serna Fernández, MC. Mario A. Méndez Dorado, Ing. Héctor E. González Ramírez. Personas que admiro y respeto mucho. Gracias por todas las enseñanzas, los valores y el ánimo que me inculcaron.

ATTE:

Juan González Martínez

Ing. Mecánico Agrícola

Generación CXIV

Índice general

Dedicatorias	ii
Agradecimiento	iii
Índice general	iv
Índice de figuras	vii
Índice de cuadros	ix
Resumen	x
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivo general	6
1.2. Objetivos específicos	6
1.3. Hipótesis	6
2. REVISIÓN DE LITERATURA	7
2.1. Clasificación de los sistemas de labranza	12
2.2. Sistema de labranza vertical	14
2.3. Arado de cinceles	16
2.4. Ventajas del arado de cinceles con respecto a otros arados	20
2.5. Evaluación de implementos de labranza	21
2.6. Medición de fuerza y energía	23
2.7. Automatización de labranza	24
3. MATERIALES Y MÉTODOS	25
3.1. Localización y descripción de lugar de diseño y fabrica- ción de prototipo	27

3.2.	Parámetros de diseño	28
3.3.	Diseño asistido por computadora	29
3.3.1.	SolidWorks	29
3.3.2.	DraftSight	30
3.4.	Acero al carbón y estructural	30
3.4.1.	Acero AISI 1018	31
3.4.2.	Acero AISI 1045	31
3.4.3.	Acero ASTM A36	32
3.4.4.	Propiedades mecánicas	32
3.4.5.	Herramientas y equipos de laboratorio	33
3.5.	Especificaciones del implemento de referencia	33
3.6.	Especificaciones de prototipo inicial	34
3.7.	Diseño Conceptual	36
3.7.1.	Análisis de requerimiento	37
3.7.2.	Desarrollo de conceptos	37
3.7.3.	Definición de conceptos y funciones	38
3.8.	Ingeniería de detalle	38
3.8.1.	Diseño y modelado de piezas	38
3.8.2.	Diseño y modelado de subensambles	40
3.8.3.	Diseño y modelado de ensamble general	45
3.8.4.	Elaboración de planos de fabricación	46
3.8.5.	Elaboración de archivos DXF para corte en láser u oxicorte	48
3.8.6.	Revisión de diseño y planos de fabricación . . .	49
4.	RESULTADOS	50
4.1.	Modelo de prototipo en 3D	50
4.1.1.	Modelo de piezas	50
4.1.2.	Modelo de subensambles	52
4.1.3.	Modelo de ensamble general	56
4.2.	Fabricación de prototipo	61
4.2.1.	Lista de corte y de componentes	61
4.2.2.	Adquisición de equipo y material	61
4.2.3.	Corte y doblado de placas	62
4.2.4.	Acabados superficiales	62
4.2.5.	Corte de barra redonda	63

4.2.6. Corte de PTR	63
4.2.7. Maquinado de piezas	64
4.2.8. Armado y soldado de subensambles	65
4.3. Prototipo final	71
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	72
5.1. Conclusiones	72
5.2. Recomendaciones	73
6. BIBLIOGRAFIA	74
Anexo	78

Índice de figuras

2.1.	Clasificación simplificada de labranza.	14
2.2.	Aflojamiento del suelo con subsolador bajo condiciones húmedas y secas.	18
2.3.	Tipos de brazos de un subsolador.	18
2.4.	Representación de las relaciones entre la profundidad de trabajo de un subsolador, el ancho de aflojamiento y el espaciamiento entre brazos.	19
2.5.	Efecto del ángulo de ataque de la herramienta (α) sobre la fuerza de tiro requerida para efectuar la labor.	20
3.1.	Multicultivador MCC 3/5/7.	34
3.2.	Prototipo inicial de arado de cinceles articulado.	35
3.3.	Diagrama de flujo.	36
3.4.	Diseño de pieza a partir de un croquis.	39
3.5.	Modelo de pieza terminado.	40
3.6.	Subensamble del paralelogramo inferior.	41
3.7.	Dimensiones correspondientes a los puntos de enganche del tractor.	42
3.8.	Dimensiones correspondientes al implemento de enganche.	44
3.9.	Diseño del tercer punto del prototipo.	45
3.10.	Ensamble general del prototipo.	46
3.11.	Plano de pieza.	48
3.12.	Plano de pieza en formato DXF.	49
4.1.	Modelo de piezas con el diseño definitivo.	51
4.2.	Modelo de bastidor delantero.	52
4.3.	Modelo de bastidor trasero.	52
4.4.	Modelo de caja porta-brazo.	53
4.5.	Modelo de paralelogramo inferior.	53

4.6. Modelo de refuerzo.	54
4.7. Modelo de paralelogramo superior.	54
4.8. Modelo de cilindro hidráulico.	55
4.9. Vista isométrica, configuración Núm. 1.	56
4.10. Vista frontal, configuración Núm. 1.	56
4.11. Vista isométrica, configuración Núm. 2.	57
4.12. Vista frontal, configuración Núm. 2.	57
4.13. Vista isométrica, configuración Núm. 3.	58
4.14. Vista frontal, configuración Núm. 3.	58
4.15. Vista isométrica, configuración Núm. 4.	59
4.16. Vista lateral, configuración Núm. 4.	59
4.17. Vista isométrica, configuración Núm. 5.	60
4.18. Vista lateral, configuración Núm. 5.	60
4.19. Acabado de placas.	63
4.20. Corte de barra redonda.	63
4.21. Corte de PTR.	64
4.22. Proceso de maquinado para pernos.	64
4.23. Proceso de maquinado para placas.	65
4.24. Armado y punteado de bastidor delantero.	65
4.25. Armado y punteado de bastidor trasero.	66
4.26. Punteado y resoldado con soldadura MIG.	66
4.27. Armado y puenteado del 3P.	67
4.28. Resoldado de bastidor delantero y 3P terminado.	67
4.29. Pulido de caja porta-brazo.	68
4.30. Pulido de bastidor.	68
4.31. Pulido de tercer punto.	69
4.32. Punto de enganche superior soldado.	69
4.33. Cajas porta-brazo terminados.	70
4.34. Bastidor delantero y enganche de 3P terminado.	70
4.35. Prototipo de arado de cinceles articulado.	71

Índice de cuadros

2.1. Respuesta del suelo al trabajo de maquinarias con respecto al contenido de humedad.	11
2.2. Clasificación de los sistemas de labranza.	13
3.1. Materiales empleados, normas y aplicación.	32
3.2. Propiedades mecánicas de los aceros empleados.	33
3.3. Especificaciones del multicultivador MCC 3/5/7.	34
3.4. Componentes de prototipo inicial de arado de cinceles articulado.	35
3.5. Configuraciones de diseño.	38
3.6. Dimensiones correspondientes a los puntos de enganche del tractor.	43
3.7. Dimensiones correspondientes al implemento de enganche.	45

Resumen

El presente trabajo forma parte del proyecto Labranza Inteligente, “**Agricultura de Precisión**” llevado a cabo en el departamento de Maquinaria Agrícola de la UAAAN. En este proyecto se contempla el objetivo de desarrollar un prototipo de herramienta de labranza vertical con control automático de profundidad, manipulado mediante el registro de información satelital, mapas de diagnóstico y prescripción de los niveles de energía por sitios específico. El propósito de esta investigación tuvo como objetivo el diseño y la fabricación de un prototipo de arado de cinceles articulado para Agricultura de Precisión.

El prototipo fabricado cuenta con dos bastidores altamente reforzados (bastidor delantero y bastidor trasero) estos son las estructuras principales del prototipo, en el bastidor delantero se encuentra el sistema de enganche de tres puntos y también en ella se montan conjuntos de caja porta-brazo para los diferentes arreglos. Estos van unidos entre ellos con un mecanismo de paralelogramo que permite la variación de profundidad para los brazos traseros, mientras que los brazos delanteros la variación de la profundidad se lleva a cabo desde el mecanismo de levante del tercer punto del tractor agrícola.

El accionamiento de la profundidad de trabajo para los brazos traseros se efectúa con dos cilindros hidráulicos, uno para cada paralelogramo y accionado mediante una válvula proporcional o una electroválvula de doble acción.

Palabras clave: *Labranza Inteligente, Agricultura de Precisión, Diseño Mecánico, Prototipo, Arado de Cinceles Articulado.*

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

La labranza primaria adquiere importancia en la preparación del suelo debido a que la remoción es alta y que esta labor afecta en gran medida sus propiedades físicas y, directa e indirectamente las propiedades químicas y biológicas. Los cambios promovidos por la labranza deben favorecer la producción de los cultivos y mantener la calidad física del suelo, pero debido al uso inadecuado de los implementos de labranza se provoca la erosión y degradación física de éste. La degradación física del suelo puede ser definida como la pérdida de la calidad de la estructura del suelo FAO (2003).

Esa degradación estructural puede ser observada tanto en la superficie con el surgimiento de finas costras, por debajo de la capa arada, donde surgen capas compactadas. Con esa degradación Cabeda (1984) menciona que las tasas de infiltración de agua en el suelo se reducen, mientras las tasas de escorrentía y de erosión aumentan. Las principales causas de la degradación de las características físicas del suelo según Cabeda (1984) son:

Cobertura inadecuada de la superficie del suelo; que expone los agregados de la superficie del suelo a la acción de lluvias; como consecuencia ocurre el colapso estructural de estos agregados, formándose costras con espesor medio de un milímetro, que reducen drásticamente la infiltración de agua.

Excesiva labranza y/o labranza con humedad inadecuada; la labranza en exceso y superficial lleva a la rotura de los agregados, favoreciendo

la formación de costras, escurrimiento y el transporte de partículas (erosión). La reducción de la rugosidad provocada por la labranza.

Por otro lado el alto costo en las labores debido a un gran número de pasos de implemento y por lo tanto gran consumo de energía en forma de combustible es un factor que puede limitar la actividad agrícola pues reduce el costo-beneficio del sistema de producción. Steiner (1998) menciona que para muchos agricultores, antes de una conciencia conservacionista, la principal razón de adopción de los sistemas de labranza de conservación es la posibilidad de reducción de costos.

Para Derspch (2007) la reducción del uso de energía en los sistemas de producción agrícolas es un tema de gran importancia pues contribuye al éxito financiero de los mismos y con la disminución de subsidios y una gran competencia en el mercado globalizado, los agricultores consideran actualmente opciones de reducción de labores y gasto de energía para bajar los costos.

La búsqueda de solución a esta problemática ha conducido al estudio e implementación de la labranza de conservación, con el fin de disminuir el impacto sobre el medio ambiente y especialmente sobre el suelo. Por lo anterior, es importante conocer diferentes parámetros operativos de los implementos de labranza y su incidencia en el suelo FAO (2003). Teniendo en cuenta lo anterior investigadores señalan que el método de labranza escogido debe ser capaz de ajustarse ampliamente al sistema de manejo del suelo y desarrollo radicular de los cultivos pensando siempre en conservar los recursos suelo y agua (Brown et al, 1985; Harman et al, 1989, Bravo, 1995).

En la actualidad, la labranza de conservación se utiliza extensivamente en la agricultura de México. Por lo que los complejos mecanizados revisten de gran importancia en las condiciones modernas de desarrollo y crecimiento de la economía agrícola. No obstante, la productividad y eficiencia de los nuevos implementos juegan un papel determinante en el proceso de la producción de alimentos. Para lograrlas, es necesario

buscar reservas que permitan al productor incrementar sus cosechas y disminuir los costos mediante el uso racional de los recursos suelo y agua (Gutiérrez et al., 2004).

La labranza reducida, es otro término de la labranza de conservación y ésta se refiere al cultivo de toda el área del suelo pero con la eliminación de uno o más laboreos en comparación con los sistemas convencionales de labranza. Esto se refiere a un rango amplio de sistemas distintos, como por ejemplo:

- Rastra de discos o cultivadora, luego sembrar.
- Arado de cinceles o cultivadora, luego sembrar.
- Rotocultor, luego sembrar.

Dependiendo de los implementos utilizados y el número de pasadas, la labranza reducida puede ser clasificada como un sistema conservacionista o no conservacionista según la cobertura de rastrojos que queda al momento de la siembra. Por lo tanto, no todos los sistemas de labranza reducida son sistemas conservacionistas. De los tres ejemplos citados anteriormente, es probable que solamente el arado de cinceles o cultivadora luego de sembrar, pudiera ser clasificado como un sistema conservacionista (FAO, 2000).

La labranza conservacionista es un término general que ha sido definido como cualquier secuencia de labranzas que reduce las pérdidas de suelo y agua, en comparación con las de la labranza convencional (Lal, 1995). Normalmente se refiere a un sistema de labranza que no invierte el suelo y que retiene rastrojos sobre la superficie.

Para las labores de establecimiento de cultivos, se requiere un gran consumo de energía en forma de combustible, esto es un factor que puede limitar la actividad agrícola pues reduce el costo-beneficio del sistema de producción (Kichler et al., 2007).

La eficiencia global con la que se aplica esta energía a la tierra es cerca de 0.25 %, principalmente debido a problemas en la fabricación

de implementos de labranza eficaz para romper el suelo. Debido a que los insumos de energía-labranza y otros aspectos de la producción agrícola, particularmente en la agricultura de regadío, tienden a demandar demasiado, los cambios en estos debe ser visto en términos de la eficiencia energética global del sistema de producción de los cultivos. Generalmente, esto significa que los cambios para hacer más eficiente la energía de labranza deben ser aquellos que no reducen los rendimientos.

Tomando en cuenta lo anterior, un problema a resolver en los sistemas actuales de producción incluyendo los de conservación, es reducir al mínimo el uso de energía, por lo que se debe desarrollar tecnología de implementos que cada vez sean más eficientes. En México de acuerdo al Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2006) se sembraron 15 486 121 ha de cultivos cíclicos que son en los cuales se realiza una labranza de mayor intensidad es decir con una alta aplicación de energía. Las necesidades de reducción de aplicación de energía y de conservación de los recursos suelo y agua se dan con mayor prioridad en la superficie antes mencionada; ya que por ejemplo estudios de las labores en los sistemas de producción de cultivos cíclicos como sorgo y maíz, señalan que la labranza puede representar hasta el 60 % de los costos de producción debido a la alta demanda de energía de la misma (Báez, 2001).

En la labranza de conservación, los mejores implementos son los llamados de labranza vertical, sin embargo aun demandan una alta potencia (Hoogmoed 1999). Para poder proponer el desarrollo de implementos más eficientes, con menor demanda de potencia, es necesario conocer con mayor detalle cuales son los factores inherentes a la geometría y diseño de los mismos que interactúan con los factores ambientales como tipo de suelo, contenido de humedad, y con los factores operativos como la velocidad, profundidad para obtener el resultado esperado en uso de energía. Se debe generar la información anterior en forma racional y eficiente para establecer los diseños futuros de implementos de labranza.

Las practicas de manejo de suelo entre la labranza de conservación, son herramientas disponibles para mitigar el efecto de eventos climáticos extremos, éstos son efectivas para el control de la erosión, promueven la infiltración y almacenamiento de agua, reducen escurrimiento y evaporación desde la superficie del suelo (Triplett y Dick, 2008, Endaleet al., 2009).

El propósito de éste proyecto fue desarrollar un equipo de labranza vertical controlando su funcionamiento mediante el empleo de satélites, sistemas de información geográfica y el control automático de profundidad geo-posicionado de herramientas de estallamiento de suelo en base a diagnóstico de sitio específico. El equipo es enganchado a los tres puntos del tractor agrícola. El sistema de control de profundidad de brazos traseros comprende un mecanismo de paralelogramo el cual es accionado con cilindros hidráulicos y controlado su accionamiento mediante una válvula proporcional o una electroválvula de doble acción.

Se trata de un controlador FmX, corazón del instrumento de labranza, que coordina la antena RTK, y el carro porta-sensor. El equipo trabaja con 18 satélites de los 24 que hay, lo que da la máxima precisión. Tiene un radio de alcance de 3 kilómetros. Hizo su aparición en octubre de 2011 y se usa para fertilización, irrigación por aspersión y para siembra, pero para labranza no hay ningún antecedente.

El equipo en el tractor consta de dos secciones, una fija, en la parte frontal y en la parte posterior una articulada que permite se haga labranza variable. Para que el equipo lo haga de forma automática e inteligente, se necesita que mueva esa sección trasera a través de una señal, la cual es la posición donde interviene la antena RTK, la pantalla FmX y una válvula electrohidráulica proporcional que es capaz de recibir la instrucción de una pantalla. Con este equipo se obtiene precisión milimétrica. (Reynolds, 2014. *Uso de labranza vertical y agricultura de precisión para la optimización de energía en la labranza primaria del suelo.*)

1.1. Objetivo general

Desarrollar un equipo de labranza vertical mediante el empleo de satélites, sistemas de información geográfica y el control automático de profundidad geo-posicionado de herramientas de estallamiento de suelo en base a diagnóstico de sitio específico.

1.2. Objetivos específicos

Diseñar y fabricar un prototipo de un arado de cinceles articulado para labranza vertical con control automático de profundidad mediante el uso de satélite y basado en mapas de diagnóstico de los niveles de energía por predio específico.

1.3. Hipótesis

Es posible desarrollar equipos inteligentes de labranza vertical que permitan ser empleados en la agricultura de sitio específico con sistema de control de profundidad variable con mayor eficiencia que el sistema tradicional de aplicación total de energía en el laboreo de suelos agrícolas.

Capítulo 2

REVISIÓN DE LITERATURA

La introducción a la Agricultura de Precisión, en EEUU, por los años 1991-1993, diseñó un esquema de utilización de las herramientas posicionadas por GPS (Sistema de Posicionamiento Global) que determinaba una aplicación de insumos en forma variable ADV (Aplicación Dosis Variable) como única alternativa que disponía el productor para recuperar la inversión. En la actualidad se posee mayor conocimiento acerca del aprovechamiento agronómico de los datos de rendimiento grabados espacialmente (mapas de rendimiento) (Daberkow et al., 2002).

Anteriormente se decía que la Agricultura de Precisión partía del análisis de los primeros mapas de rendimiento logrados. Luego de años de trabajo, evolución y experiencia se sabe que la variabilidad expresada en el rendimiento de un cultivo en forma espacial depende de una diversidad de factores y que su análisis e interpretación es una tarea compleja, resultando muy difícil extraer conclusiones directas para un Manejo de Sitio Específico de Insumos (MSEI). Actualmente se sigue avanzando en los conocimientos agronómicos, en la puesta a punto de las herramientas de cosecha de datos geo-referenciados, en el diseño de ensayos y en el desarrollo de nuevas herramientas como los sensores remotos de tiempo real; la percepción remota aportará importantes adelantos tecnológicos.

También por otro camino paralelo se está mejorando la precisión, facilidad de utilización y costos de todo el equipamiento necesario para equipar un tractor, ya sea con una fertilizadora, sembradora o

pulverizadora para realizar en forma eficiente la aplicación de insumos variables, a partir de una prescripción, de acuerdo a la necesidad real de cada sitio del lote. Norton, et al., 2001 describe una metodología de manejo integral utilizando herramientas de obtención de datos geo-referenciados de rendimiento (mapas de trigo y maíz) del lote, muestreos de suelo dirigidos, análisis y siembra de maíz con densidad y fertilización variable de acuerdo a prescripciones geo-referenciadas, que incluye la identificación de zonas de rendimientos diferentes dentro del lote a través de mapas anteriores; realización de un muestreo representativo de cada una de las zonas, con muestras compuestas geo-referenciadas con submuestras de cada uno de los lugares seleccionados; análisis de la correlación de rendimiento y característica química-físicas de suelo; priorización de los datos de rendimiento de los mapas anteriores, como dato de peso en la estimación de rendimiento de sitio específico del maíz.

Teniendo como criterio que donde más rindió en los mapas anteriores se estima que se expresará con un mayor potencial de rendimiento y por donde serán necesario mayor necesidad de nutrientes y análisis de respuestas variables de cada dosis de fertilizante en cada ambiente para luego realizar un análisis económico para determinar la conveniencia o no del uso de este tipo de tecnología de siembra variable con sembradora inteligente donde los ambientes lo justifiquen. Este tipo de ensayos prueba una metodología en el gran cultivo, donde se cruzan factores, con diferentes ambientes y se analizan los datos de toda la población evaluada en forma geo-referenciada, de esta forma ganamos experiencia y disponemos de datos agronómicos que posibiliten adelantar las prácticas de Agricultura de Precisión mejorando los ensayos futuros.

Una muestra del típico equipamiento empleado para densidad de semilla y dosis de fertilizante variable es el descrito por Lowenberg-DeBoer, 1997 que incluye: GPS Trimble 132, DGPS señal Beacon, monitores PF 3000 (para VRT de semilla y para VRT de fertilizante), tarjetas PCMCIA (para cada prescripción confeccionada con programa Farm Works), consola AccuRate (con 2 puertos para recibir

la información de las prescripciones y enviar la señal a los motores en forma independiente), motores Rawson (1 para siembra y otro para fertilizante), radar de velocidad real.

En relación a los sensores para el monitoreo de fuerzas en la labranza Godwin y Spoor citado por Campos, et al. (2002) indican que uno de los aspectos más importante en la evaluación de nuevos diseños de herramientas de labranza es el proceso de medición de las magnitudes de las fuerzas que actúan en dichos implementos, la característica de la falla, así como el volumen de disturbación y sección transversal del suelo como producto de la geometría de la herramienta, controlando variables del suelo como son humedad y densidad.

El proceso de desarrollo y evaluación de herramientas de labranza bajo condiciones de campo requiere de tiempos superiores a los 3 años, debido a que el proceso de incremento en densidad aparente del suelo es lento, además de que es imposible aislar los efectos de humedad y textura sobre el comportamiento de las herramientas de labranza (Campos, et al. 2002). En relación a la producción de alimentos, el incremento en la densidad de población, implica un aumento en el uso de energía de combustibles fósiles y un mayor impacto ambiental (Conforti y Giampietro, 1997). Para las labores de establecimiento de cultivos, actualmente se requiere un gran consumo de energía en forma de combustible, esto, es un factor que puede limitar la actividad agrícola pues reduce el costo-beneficio del sistema de producción (Kichler et al., 2007), no obstante, si se implementan cambios tecnológicos apropiados en los sistemas de producción de alimentos, se estima que se puede reducir hasta 50 % el uso de energía fósil en los mismos (Pimentel et al., 2008).

La reducción del uso de energía en los sistemas de producción agrícolas es un tema actual de gran importancia pues contribuye al éxito financiero de los mismos y con la disminución de subsidios y una gran competencia en el mercado globalizado, los agricultores consideran actualmente opciones de reducción de labores y gasto de energía para bajar costos, como el uso de sistemas de labranza de conservación

(Derspch, 2007).

Actualmente en algunos cultivos como trigo, la energía utilizada en labranza convencional representa hasta el 35 % del total invertido en el sistema de producción, disminuyendo el número de labores este porcentaje se reduce hasta 19 % en cero labranza (Tabatabaeefar et al., 2009). Sin embargo se debe tener cuidado en la reducción de la intensidad de la labranza pues en algunos cultivos esto puede resultar en la reducción del rendimiento (Agbede, 2006), en este aspecto, la labranza vertical es una buena alternativa como sistema de conservación ya aun cuando puede presentarse una pequeña reducción del rendimiento, el ahorro de energía es considerable (Cavalaris y Gemptos, 2002).

Los implementos de labranza vertical tipo cincel, demandan una menor cantidad de energía que los sistemas de labranza convencional (Hoogmoed 1999; Camacho y Tamayo, 2007). De acuerdo con Raper y Bergtold (2007), se puede hacer mucho para disminuir el costo de operaciones con labranza vertical vía reducción de uso de energía, seleccionando la adecuada geometría de los implementos, la adecuada profundidad de trabajo y humedad en el perfil del suelo.

El contenido de humedad es tal vez el factor más importante que determina la calidad de labor que se obtendrá (Spoor y Godwin, 1990), realizar labores en los extremos del contenido de humedad por lo general resulta inconvenientes, en un suelo demasiado húmedo se puede incluso dañar la estructura, pero si la labor se realiza en un suelo demasiado seco la cantidad de energía a utilizar será bastante grande (Dexter y Bird, 2001). Ver cuadro 2.1.

Cuadro 2.1: Respuesta del suelo al trabajo de maquinarias con respecto al contenido de humedad.

Humedad	Consist. del suelo	Respuesta del suelo al trabajo
Suelo seco	Cementado	Alta resistencia al corte de una herramienta, se generan grandes terrones.
Suelo húmedo	Friable	Menos requerimiento de energía para ejecutar la labor.
Suelo saturado	Plástico	Dificultades para transitar sobre el suelo. El suelo se pega a las herramientas. Se facilita la compactación.
Suelo líquido	Líquido	Solo para labores de fanguero en el cultivo del arroz.

El resultado de la labranza será óptimo a un contenido particular de humedad y como resultado, un menor número de labores será requerido, disminuyendo la energía aplicada en un sistema de labranza (Keller et al., 2007). Sin embargo, determinar el contenido óptimo de humedad para una labor específica no es tan fácil o directo y el valor cambiará de acuerdo al tipo de implemento y suelo (Hoogmoed et al., 2003), por eso es necesario determinar cuál es el resultado de la interacción entre los factores humedad del suelo y geometría o forma del implemento en el resultado tecnológico de la labranza y la demanda de energía.

La reducción de las fuerzas de arrastre y por lo tanto de la energía para las labores podría disminuirse incorporando elementos vibratorios que minimizan las fuerzas cohesivas del suelo y su resistencia (Szabo et al., 1998), se puede reducir la demanda de energía trabajando dentro de los límites de laborabilidad del suelo entre los cuales se encuentra el rango óptimo de contenido de humedad para un determinado tipo de implemento (Cadena et al., 2003). Otra posibilidad es determinar la mejor configuración de espaciamiento de cuerpos y profundidades de trabajo para optimizar el uso de energía (Kasisira y du Plessis, 2006).

Ashraf y Kushwaha (2003) realizaron una extensa revisión de modelos

que tratan de predecir las fuerzas que requieren los implementos de labranza considerando una gran cantidad de factores, sin embargo al igual que Tong y Ballel (2006) señalan que se deben hacer mediciones o cuantificaciones en campo bajo diferentes condiciones para validar los modelos y/o verificar su confiabilidad para realizar aplicaciones en condiciones particulares.

El estudio de la demanda de energía en las operaciones requeridas por los cultivos, es una herramienta de planeación al considerar el costo-beneficio de cada uno, en este aspecto estudios del costo de la labranza basado en energía requerida es muy importante pues se puede determinar cuál es la más eficiente combinación entre tractor implemento (Serrano et al., 2007).

El ahorro de energía utilizando labranza vertical con cinceles en comparación con sistemas convencionales ha sido documentado en varios estudios (Hoogmoed y Derspch, 1985; Cadena, et al., 2004; Camacho y Tamayo 2007). Otros investigadores han observado que dentro del mismo sistema de labranza vertical puede haber una reducción del uso de energía por efecto de arreglos espaciales de los elementos y profundidades de trabajo (Hamza et al., 2006; Kasisira y du Plessis, 2006).

La fuerza requerida para jalar un implemento depende de la resistencia específica y de su profundidad de trabajo, de la densidad del suelo y la humedad al momento de la labor; el espaciamiento entre los cuerpos o cinceles en combinación con la profundidad de trabajo resultará en diferentes requerimientos de fuerza aun en una misma condición de textura y humedad de suelo (Arvidsson et al., 2004; Manuwa, 2009).

2.1. Clasificación de los sistemas de labranza

Los sistemas de labranza constituyen las variadas formas de acondicionar el suelo para establecer un cultivo determinado. Los criterios para determinar los métodos de preparación de suelos incluyen, entre otros.

- El tipo de energía.
- La maquinaria y el tiempo disponible para realizar cada labor.
- La cantidad de labores involucradas, la secuencia y el distanciamiento.
- La superficie a ser trabajada, características físicas y tipo de cubierta.
- Las condiciones del tiempo y el clima.
- La disponibilidad de mano de obra.
- La época del año.

Existe confusión en la literatura acerca de la terminología de labranza, porque muchos de los términos utilizados son muy generales, y porque además existe un gran número de diferentes sistemas que varían en los implementos, las combinaciones de los implementos y las intensidades de laboreo. La Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la Alimentación (FAO) presenta un boletín con la clasificación de los sistemas de labranza, ver cuadro 2.2 la cual puede ser resumida en la figura 2.1.

Cuadro 2.2: Clasificación de los sistemas de labranza.

Labranza convencional	Labranza conservacionista
1. Labranza primaria	1. Labranza reducida
2. Labranza secundaria	2. Labranza cero
-	3. Labranza vertical
-	4. Labranza en camellones
-	5. Labranza mínima
-	6. Labranza en bandas

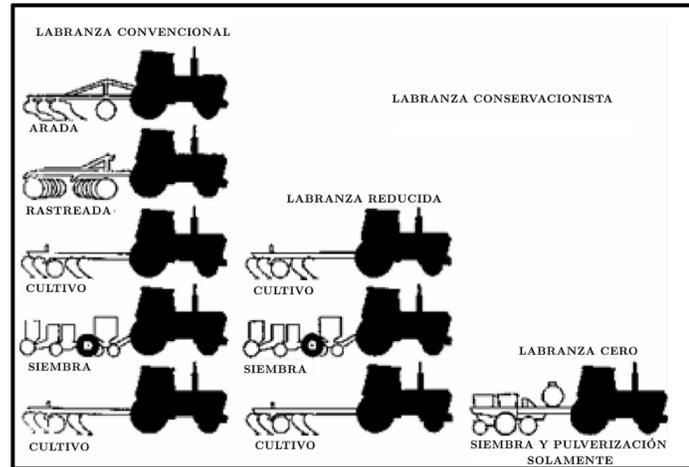


Figura 2.1: Clasificación simplificada de labranza.

2.2. Sistema de labranza vertical

Los sistemas de labranza constituyen un elemento principal dentro de los sistemas agrícolas de producción, donde muchas de las actividades posteriores afectan de forma directa al cultivo ya establecido y que dependen en gran medida del sistema de labranza aplicado a la preparación del terreno (Martínez, 1999).

Dentro de los sistemas de labranza están aquellos que hacen una remoción completa del suelo y en ocasiones una fragmentación excesiva de las partículas y no consideran la compactación del suelo, y que se conoce comúnmente como labranza tradicional. Por otro lado existe también el sistema de labranza de conservación, que se define como cualquier secuencia de labranzas que reduce las pérdidas de suelo y agua, en comparación con las de labranza convencional (Lal, 1995).

La labranza vertical es uno de los métodos más apropiados para trabajar el suelo sin que los horizontes cambien su posición relativa, no quedando una separación neta entre la parte removida y la que no lo está. El efecto de fracturación puede extenderse en profundidad o lateralmente cuando el suelo está seco y se utiliza la herramienta apropiada, ayudado por el efecto de vibración de los elementos mecánicos que actúan. La labranza vertical al trabajar verticalmente

el suelo y mantener cobertura vegetal sobre la superficie contribuye a su conservación, puesto que favorece la infiltración, elimina costras, limita la evaporación evitando el movimiento superficial del suelo por el agua y el viento. (biblioteca digital de la Universidad de Chile, documento electrónico en línea).

La labranza vertical se refiere a un sistema donde toda la tierra está preparada con implementos que no invierten el suelo y causan poca compactación. Por lo tanto, el suelo queda normalmente con una buena cobertura de rastrojo de más de 30 % sobre la superficie (FAO, 2000).

La labranza vertical es un sistema ventajoso en un amplio rango de tipos de suelo, inclusive en los que tienen problemas de drenaje y que son susceptibles a la compactación. La eficacia operativa del sistema de labranza vertical es más alta que la de labranza convencional, sobre todo debido a que el vibrocultivador trabaja con mayor velocidad y tiene mayor ancho de trabajo que la rastra de discos. Por consiguiente es posible preparar entre 50 hasta 80 % más de superficie por día con labranza vertical, si se le compara con labranza convencional (Baber et al, 1993).

La principal característica de la labranza vertical es que utiliza brazos o flejes equipados con puntas en lugar de discos para aflojar el suelo sin invertirlo, dejando en la superficie una cobertura protectora formada por los residuos del cultivo anterior y por las malezas arrancadas (Baber et al, 1993).

Los implementos de labranza vertical causan poca compactación, es decir no forman una capa dura en el subsuelo (piso de arado) que limita la profundización de las raíces. En cambio los discos de labranza convencional ocasionan capas duras. Los implementos más comúnmente utilizados son el arado de cinceles, la cultivadora de campo y el vibrocultivador (FAO, 2000).

2.3. Arado de cinceles

El arado de cinceles es considerado como un implemento de mínima labranza debido a que deja restos vegetales en la superficie del suelo. La cantidad de dióxido de carbono que se pierde durante la labranza depende del implemento que se utilice, el rastreo con rastras de discos causa mayor pérdida que el arado de cinceles. Los suelos no perturbados por labranzas tienen poca pérdida de CO_2 similar a los suelos que son labrados con arados de cinceles debido a que poco material es incorporado al suelo. Son varios los implementos existentes para el proceso de la labranza primaria.

Los arados de cinceles son implementos en los sistemas de captación de humedad, cuyo diseño le permite penetrar en suelos firmes y romper capas compactas. La superficie se deja partida y abierta para atrapar y mantener el agua de la lluvia y resistir la erosión del viento. La experiencia ha demostrado que la tracción mínima de estas herramientas tales como los arados de cinceles y los subsoladores, ocurre cuando el ángulo de elevación es de 20° entre la superficie de la herramienta y la horizontal. El desmenuzamiento ocurre con el menor esfuerzo cuando la herramienta está aplicando fuerza de elevación, que cuando se corta horizontalmente o empuja verticalmente contra el suelo (Buckingham, 1984).

Las fuerzas que actúan sobre un cincel en el suelo dependen mucho de la forma y sobre todo del ángulo de ataque. Un ángulo de ataque agudo mejora la penetración y reduce la fuerza de tracción. Además mejora el efecto de la roturación y la mezcla del suelo porque lleva una parte del material del suelo de horizontes inferiores hacia arriba (FAO, 2000).

El cuerpo de un cincel corta verticalmente a través del suelo. El suelo se mueve hacia arriba y a lo largo de la curva del cincel y es detallado por la fuerzas de empuje hacia arriba. Los resultados del efecto de la vibración lateral (comienzan a ser pronunciados hacia la superficie) aflojan completamente la parte baja del suelo. Un aflojamiento y mezcla satisfactoria se asegura cuando el suelo se encuentra relativamente

seco, el cual es roto hacia arriba en forma perpendicular a la dirección del corte en un ángulo aproximado de 50° desde la superficie (Krause et al, 1984).

La movilización del suelo es causada por cizallamiento, donde las partículas se someten a compresión-tensión, situación en que el suelo se agrieta, y por deformación plástica, situación indeseada ya que el suelo sólo se deforma en la superficie de contacto con la herramienta, lo cual puede llevar a la compactación (Aluko y Seig, 2000).

Los subsoladores trabajan mejor en el suelo firme y en estado friable donde capas más duras impiden la penetración adecuada de la humedad y el desarrollo de las raíces. La inclinación de los cuerpos y puntas del subsolador afectan la tracción, penetración, y fragmentación del suelo; cuando los soportes se inclinan hacia adelante, levantan y fragmentan el suelo mejor que cuando están casi o totalmente verticales (Buckingham, 1984).

La subsolación se puede hacer solamente cuando el suelo está seco hasta ligeramente húmedo lo cual es más difícil en suelos arcillosos. La subsolación en el estado seco requiere mucha potencia y frecuentemente deja agregados y vacíos grandes entre ellos o sea, condiciones no favorables para la germinación y crecimiento inicial de las plántulas. La subsolación de suelos arcillosos en estado húmedo crea un hueco donde pasa la punta del subsolador sin aflojar el perfil o romper la capa compactada. En la figura 2.2 muestra la diferencia en el grado de aflojamiento del suelo con subsolador bajo condiciones húmedas y secas (Baber et al., 1993).

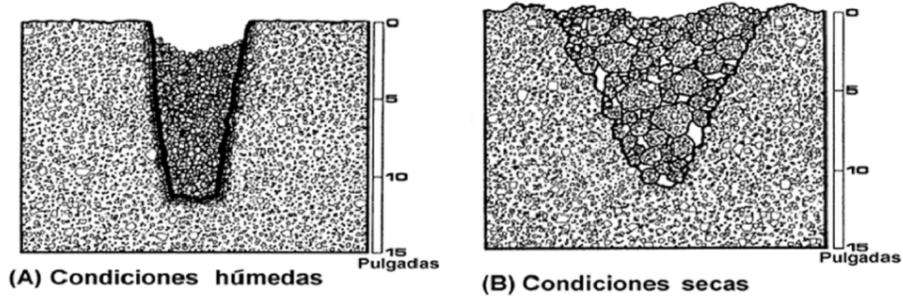


Figura 2.2: Aflojamiento del suelo con subsolador bajo condiciones húmedas y secas.

Para los cinceles existe una profundidad de trabajo crítica, en la cual no existe remoción lateral de suelo, y que ésta depende del ancho del implemento y de su ángulo de ataque, así como de la densidad y contenido de humedad del suelo. Para trabajar en profundidades mayores a la crítica, es recomendable el uso de aletas laterales en la punta del cincel, lo cual reduce también la resistencia específica, favorece el ancho de trabajo y la eficiencia de campo (McKyes, 1985).

El subsolador consta de tres o más brazos montados sobre una barra de herramientas. Los brazos deberían tener una inclinación vertical mayor de 25 - 30°, preferentemente de 45°, y es aconsejable que la altura sea regulable. Ver figura 2.3 para ejemplos de los diferentes tipos de brazos. Las puntas de los brazos normalmente son de 1.5 *in* de ancho, y deben ser de fácil recalzado. La condición de la punta es muy importante y muchas veces la subsolación no da buenos resultados debido a la mala condición de las mismas (Baber et al, 1993).

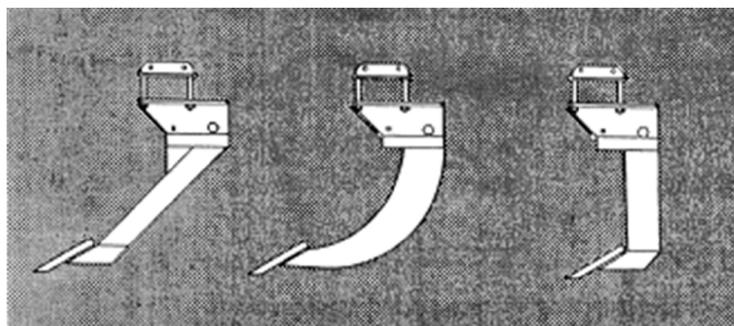


Figura 2.3: Tipos de brazos de un subsolador.

El número de brazos y el espaciado entre ellos dependerán de la potencia del tractor y de la profundidad de penetración deseada. Cuando el brazo del subsolador pasa a través del suelo, afloja un volumen de suelo que tiene una sección triangular, ver figura 2.4. El ancho del área de aflojamiento en la superficie se aproxima a la profundidad de penetración; para asegurar que la capa compactada esté bien aflojada, la profundidad de penetración de los brazos debería igualar 1.5 veces la profundidad del límite inferior de la capa compactada. Para asegurar una buena superposición del aflojamiento en la parte superior y en la parte inferior, el espaciado entre los brazos no debe ser mayor que la profundidad de trabajo. La potencia requerida por cada brazo varía con el estado de compactación del suelo, con el tipo de subsolador y especialmente con el estado de la punta. Por lo general se requieren 20 - 30 *hp*/brazo (Baber et al, 1993).

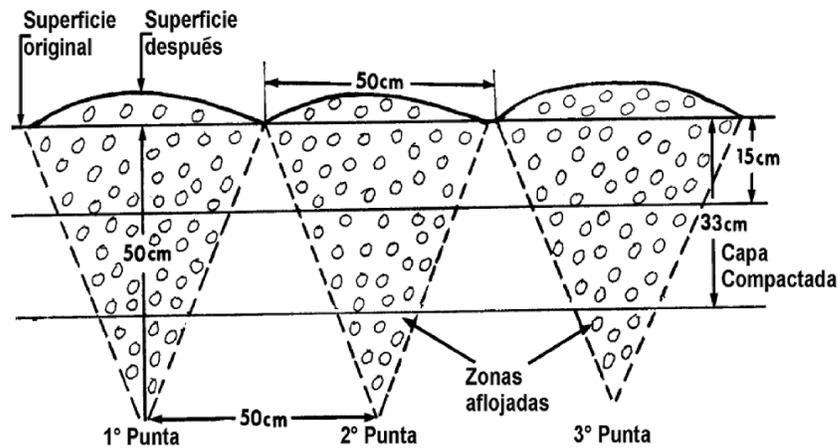


Figura 2.4: Representación de las relaciones entre la profundidad de trabajo de un subsolador, el ancho de aflojamiento y el espaciado entre brazos.

Los arados de cinceles son diseñados para lograr el máximo estallamiento de suelo con la mínima tracción. De acuerdo con el gráfico que se muestra en la figura 2.5, a medida que aumenta el ángulo de ataque del cincel aumenta el requerimiento de tracción.

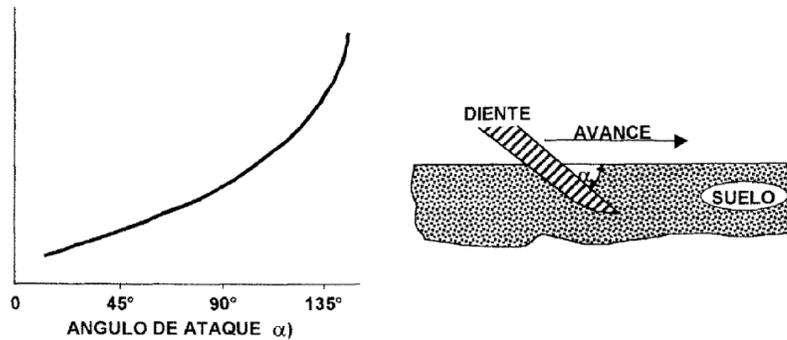


Figura 2.5: Efecto del ángulo de ataque de la herramienta (α) sobre la fuerza de tiro requerida para efectuar la labor.

2.4. Ventajas del arado de cinceles con respecto a otros arados

- Ahorro de energía: La tracción requerida por unidad de ancho, trabajando a una misma profundidad con una consistencia friable, puede ser prácticamente la mitad de la requerida por un arado de vertedera o disco.
- Mejora la infiltración del agua.
- Elimina el extracto compactado, o pie de arado, provocado por el paso sucesivo del arado de vertedera o de disco a una misma profundidad.
- Deja los residuos de cosecha, si han sido convenientemente manejados, sobre el suelo. En cambio los arados de discos y vertedera los entierran, eliminando el efecto protector hacia el suelo.
- Evita la mayor proliferación de malezas, ya que como no invierte el suelo no coloca semillas en condiciones de germinar.
- No desnivela el suelo, ni deja camellones o surcos muertos en su operación como otros arados.

2.5. Evaluación de implementos de labranza

Es trascendental conocer los diferentes parámetros operativos de los implementos de labranza y su incidencia en el suelo con el fin de disminuir su impacto sobre el medio ambiente y especialmente sobre el suelo, con objeto de obtener cambios en la producción de los cultivos y mantener la calidad del suelo, he aquí la importancia de la evaluación de los implementos (Camacho et al, 2007).

El objetivo principal de las evaluaciones en los implementos es conocer los efectos que ocasionan los diferentes métodos de labranza sobre las propiedades físicas del suelo (densidad aparente, porosidad, resistencia a la penetración, entre otras) para saber los resultados favorables o no favorables mostrando efectos beneficiosos no beneficiosos para los cuales se ven reflejados directamente en el desarrollo del cultivo (Ohep et al., 1998).

Una evaluación involucra la medición del comportamiento de una máquina bajo condiciones agrícolas reales; el propósito principal de obtener datos del comportamiento de un equipo es compararlo con el requerimiento para el cual fue diseñado (Crossley y Kilgour 1983), ya que las pruebas realizadas sobre condiciones ideales a veces no permite conseguir datos directamente relevantes a las condiciones agrícolas y dada la gran variedad de condiciones de trabajo y niveles de sofisticación de los implementos agrícolas, se ha dificultado la compilación de procedimientos de prueba de estos (Smith y Sims, 1990).

En una comparación que hicieron (Cadena et al., 2004) la labranza vertical (multiarado y vibrocultivador) con la labranza convencional (arado de discos y rastra de discos) en términos de la calidad y consumo de energía que los implementos desarrollan al labrar el suelo. Consideran que la labranza vertical son de menor costo para la preparación del suelo; pues el multiarado puede sustituir al arado de discos (labranza primaria) y para la labranza secundaria el vibrocultivador a la rastra de discos puesto que realiza las mismas labores pero de una

mejor calidad traducidos en menor consumo de combustible por área, reducción en la densidad aparente, un mayor ancho de trabajo, menor esfuerzo unitario y distribución energética, tamaño de agregados óptimos y una menor inversión del suelo.

Chichester et al. (1985) evaluando sistemas de fertilización localizada mediante combinaciones de discos y cinceles, a velocidades de 4, 7 y 10 kmh^{-1} , encontraron que la mayor remoción de suelo se presentó a una velocidad de 7 kmh^{-1} , siendo tres veces mayor a 0.10 m de profundidad que a 0.05 m. Sin embargo, otros autores encontraron que la remoción del suelo y la fuerza horizontal son poco afectadas por variaciones de la velocidad, principalmente dentro del intervalo de operación en que normalmente se utilizan los cinceles y subsoladores (Lanças y Benez, 1988; Coelho, 1998; Rahman y Chen, 2001). Spoor y Godwin (1978) afirmaron que la movilización del suelo depende de la profundidad de trabajo, del tamaño del cincel (largo y ancho), además de la humedad y densidad del suelo.

La combinación de discos dobles y de cinceles escarificadores, se presentan como alternativas para prácticas de cultivo, ya que el comportamiento de la fuerza vertical facilitaría el corte de residuos en la superficie, además de permitir el manejo de capas compactadas a una mayor profundidad sin aumentar los requerimientos de potencia (Camacho y Magalhães, 2002).

Al evaluar 3 implementos de labranza primaria en sus resultados muestran que el arado de cinceles rígido es energéticamente más eficiente para preparar el suelo, con una resistencia específica baja y una mayor área transversal de suelo disturbado (Camacho y Rodríguez, 2007).

Al estudiar diferentes conformaciones de herramientas de labranza profunda, determinaron un incremento del 47 % de la área disturbada al agregar alas en la parte inferior de un subsolador convencional, y un incremento de sólo 17 % de la área disturbada al trabajar con un subsolador convencional sin alas combinado con método previo de dientes rígidos y encontraron menor densidad aparente del suelo que la lograda

con el equipo con alas (Di Prinzio et al. 1997).

2.6. Medición de fuerza y energía

Para desarrollar tecnología de implementos que cada vez demanden una menor fuerza de las fuentes de potencia, es necesario estudiar ahora en forma integral todos los factores que se conocen y que influyen en la mencionada demanda. Entre los factores que inciden para que una herramienta de labranza requiera una menor o mayor fuerza de arrastre están, la humedad en el suelo al momento de la labor, el ángulo de inclinación entre la punta de la herramienta y el plano horizontal del suelo, el filo de la punta, el tipo de suelo, la profundidad y la velocidad de trabajo así como la geometría de las partes y aditamentos del implemento y la configuración cuando se trata de una combinación de herramientas como en la siembra directa (Spoor y Godwin 1990, Fielke 1996, Tong y Ballel 2006, Godwin y O'Dogherty, 2007).

El estudio de la demanda de energía en las operaciones requeridas por los cultivos, es una herramienta de planeación al considerar el costo-beneficio de cada uno, en este aspecto estudios del costo de la labranza basado en energía requerida es muy importante pues se puede determinar cuál es la más eficiente combinación entre tractor implemento (Serrano et al 2007).

El contenido de agua del suelo afecta los requerimientos de fuerza de tracción, el área de suelo disturbada, la profundidad de trabajo, el ancho de trabajo y la resistencia específica para todos los implementos estudiados (Camacho y Rodríguez, 2007).

La humedad del suelo es un factor que incide directamente en la fuerza de tracción y requerimiento de potencia en la preparación del suelo. Los suelos secos presentan agregados con alta cohesión, siendo más alta en suelos arcillosos, requiriendo mayor fuerza de tracción para ser disturbados. La cohesión disminuye a medida que el contenido de agua aumenta, incrementándose entonces la adhesión de las partículas

del suelo sobre la superficie de la herramienta y afectando la fuerza de tracción (Mouazen y Ramón, 2002).

La evaluación energética es un procedimiento de análisis que consiste en la identificación y medida de las cantidades de energía asociada a los productos y equipos que intervienen en la producción de un determinado bien (Chapman, 1974) y (Pimentel, 1980).

2.7. Automatización de labranza

El desarrollo de la Agricultura de Precisión en la década de 1990, abrió una nueva forma de pensamiento de la mecanización agrícola. Durante los últimos veinte años, se ha desarrollado una tendencia en torno a la adopción de sistemas automatizados para mejorar la productividad en el sector agrícola, los tractores autoguiados por GPS, y sistemas de visión artificial para cosechadoras, son aditamentos que están actualmente disponibles en el mercado (Reid 2011). Se están desarrollando nuevos conceptos para permitir que la automatización agrícola prospere y pueda entregar todo su potencial.

La automatización avanza de forma gradual, de tal manera que los nuevos dispositivos mejoran a sus predecesores, este ha sido un enfoque exitoso pero ignora otras alternativas de solución al mismo problema y en ese aspecto emerge una oportunidad que los científicos están estudiando para cambiar la automatización de las labores agropecuarias con grandes maquinarias, por nuevas máquinas inteligentes de pequeñas dimensiones.

Actualmente plataformas robóticas asistidas por humanos, han demostrado ser el doble de eficientes que la recolección con escaleras móviles. Los avances en dispositivos móviles de sensores y sistemas de control permiten un uso óptimo de los recursos, pero esto es sólo el comienzo, aún hay un camino por recorrer en torno a la automatización, sin embargo en pocos años, la automatización y la inteligencia artificial provocarán una revolución en la forma en que los alimentos se producen.

Capítulo 3

MATERIALES Y MÉTODOS

El proyecto está dividido en tres etapas paralelas, los dos primeros son referentes a dos fases de la agricultura de precisión, que incluyen las fases de diagnóstico geo-referenciado de dos ambientes y la de prescripción con la cantidad de energía requerida en función de la resistencia específica del suelo, que incorpora también la parte de simulación en base a datos históricos de rendimientos-diagnóstico-prescripción.

La tercera etapa del proyecto está relacionada con equipos e instrumentos para la evaluación de un prototipo inteligente de labranza vertical bajo condiciones de campo, controlando la demanda de energía por el geo-posicionador en base a tres niveles de prescripción.

- **Primera fase.** Diagnóstico geo-referenciado de ambientes. Se desarrollaron e integraron los siguientes componentes:
 1. Sensores de resistencia específica del suelo, índices de cono con velocidad de penetración variable hasta 0.60 m de profundidad con capacidad de hasta 4000 kPa , sensores de resistencia al corte con capacidad de 40 kN y con monitoreo dinámico en tiempo real.
 2. Sistema de adquisición de datos, con muestreos de 8 variables a una mínima frecuencia de obtención por dato de 10 Hz .
 3. Sistema de acondicionador de señales, con ganancias mínimas de $10\ 000$ gains.
 4. Geo-referenciación, con precisión mínima de un metro.
 5. Integración de variables.

6. Generación de mapa de ambientes, mediante Sistema de información Geográfica (GIS), GS+.
 7. Para el caso de los datos obtenidos con los sensores dinámicos de resistencia específica a la falla fueron comparados con los obtenidos bajo condiciones de laboratorio, evaluándolos en dos sitios con diferentes condiciones.
- **Segunda fase.** Se construyó un banco de pruebas con actuadores de posición, instrumentados con sensores para registro en tiempo real de posición. Así mismo se implementó el control de posición inteligente, midiendo el tiempo de respuesta a los cambios dinámicos de posición. En esta fase también se diseñó y se fabricó un prototipo de equipo de labranza vertical que permite variar en función de la resistencia específica del suelo y de la localización de las capas demandantes de energía, las profundidades de trabajo en forma independiente de los cinceles traseros. Se empleó la pantalla de control FmX de timble cuyas características son:
 - Consiste tanto en Software como en Hardware.
 - El Software se ejecuta en una pantalla táctil LCD en color, de 30 *cm* (12 *in*).
 - Es un avanzado sistema de de administración de datos de campo.
 - Controla y registra información de un lote en tiempo real desde registro de datos básicos hasta operaciones avanzadas como: control de aplicaciones, nivelación y/o drenaje de terrenos y cosecha.
 - Es compatible con el sistema de dirección automática Auto-pilot.
 - **Tercera fase.** Evaluación bajo condiciones de campo en dos sitios de alta productividad, registrando la aplicación de energía real en base a los mapas de prescripción y contrastándolos con los datos históricos. Así como una validación de mapas de rendimiento bajo los dos sistemas. Para esta etapa se instrumentó un tractor agrícola con sistema de adquisición de datos, geo-posicionador agrícola

diferencial, sistema inteligente de control de timble y registro de consumo de combustible.

En este proyecto de tesis, el trabajo se centra en la segunda fase, que es el diseño y fabricación del prototipo de equipo de labranza vertical (prototipo de arado de cinceles articulado). En proyectos pasados se realizó un concepto de diseño del prototipo, basado en el implemento MCC 3/5/7 y aportaciones de diseño por Velázquez, 2011. En este nuevo proyecto se realizará un nuevo diseño del prototipo y posteriormente su fabricación.

3.1. Localización y descripción de lugar de diseño y fabricación de prototipo

El presente proyecto se llevó a cabo en las instalaciones del Centro de Investigación y Desarrollo Aplicado de Aguascalientes, S.C. (Ideaa), incorporado a la empresa Tecnomec Agrícola S.A. Ideaa esta ubicado en la Carretera a Paso Blanco, km 2 Núm. 400, Colonia Vista Hermosa, en el municipio de Jesús María, Aguascalientes, Ags, México, C.P. 20926.

Ideaa se constituye como uno de los mas avanzados centros de investigación y mejora de maquinaria agrícola en México. En ella se aplican conceptos avanzados de diseño mecánico, electrónico e industrial para implementos agrícolas de alto rendimiento así como en la automatización de industrias externas.

También cabe destacar que Ideaa se ha especializado en el diseño de herramientas, ingeniería inversa, diseños en 2D y 3D, análisis de elemento finito, cálculo de presión, diseño y desarrollo de escrepas, y sistemas multicultivadores que han demostrado incrementar sustancialmente su rendimiento tras las aplicaciones de mejoras que se han diseñado en este espacio de intercambio.

3.2. Parámetros de diseño

Para el diseño de un nuevo producto en ingeniería en donde existen factores importantes para llevar a cabo esta tarea, es necesario tener el conocimiento de los factores de diseño de cada proyecto. A continuación se muestra una lista de los parámetros de diseños considerados en el diseño y fabricación del prototipo de arado de cinceles articulado.

1. Prototipo con enganche de tres puntos al tractor agrícola (de tipo integral), tomando en consideración la norma ISO 730-1:1994(E) para tractor de categoría II.
2. Prototipo con dos bastidores porta-brazos: Bastidor delantero, capaz de soportar hasta cuatro conjuntos de brazo-cinzel con diferentes espaciamiento entre ellos. Bastidor trasero, que soporte tres conjuntos de brazo-cinzel con diferentes espaciamiento entre ellos.
3. Ambos bastidores de prototipo unidos con un mecanismo de paralelogramo.
4. El mecanismo de paralelogramo del prototipo debe contar con dos cilindros hidráulicos que permitan la articulación del bastidor trasero desplazando éste de arriba a abajo y viceversa, teniendo así una profundidad mínima y una máxima.
5. El bastidor delantero debe contar con un ancho de trabajo que permita configurar cuatro conjuntos de brazo-cinzel con diferentes espaciamiento entre ellos.
6. El bastidor trasero debe contar con un ancho de trabajo que permita configurar dos conjuntos de brazo-cinzel con diferentes espaciamiento entre ellos.
7. Los bastidores; delantero y trasero serán fabricados cada uno como un solo conjunto soldado. Altamente reforzados para el trabajo en campo con una demanda de fuerza alta en cada brazo.
8. Diseño de prototipo factible para el enganche al tractor agrícola, para el ensamblado, así también como para las configuraciones rápidas en pruebas de campo.

3.3. Diseño asistido por computadora

El diseño asistido por computadora CAD (Computer-Aided-Desing) comprende el uso de computadoras para crear dibujos y modelos de productos. Por lo común el diseño asistido por computadora se asocia con gráficos interactivos por computadora, conocidos como sistemas CAD. Los sistemas de diseño asistido por computadoras son herramientas poderosas y se utilizan en el diseño y modelado geométrico de piezas y productos.

En Ideaa se utilizan diferentes Software de diseño como son ProEngineer, Inventor, SolidWorks, AutoCad, DraftSight, así como Software de diagramas y simulaciones eléctricas, hidráulicas y neumáticas. Los principales Software de diseño que se utilizaron en este proyecto son Solidworks y Draftsight.

3.3.1. SolidWorks

SolidWorks es un Software CAD (Diseño Asistido por Computadora) para modelado mecánico en 3D, desarrollado en la actualidad por SolidWorks Corp., para el sistema operativo Microsoft Windows, intuitivo y fácil de manejar.

El programa permite modelar piezas, conjuntos (ensambles) y extraer de ellos tanto planos técnicos como otro tipo de información necesaria para la producción. Es un programa que funciona con base a las nuevas técnicas de modelado con sistemas CAD. El proceso consiste en trasvasar la idea mental del diseñador al sistema CAD, construyendo virtualmente la pieza o conjunto. Posteriormente todas las extracciones (planos y ficheros de intercambio) se realizan de manera bastante automática.

Las principales características que hace de Solidworks una herramienta versátil y precisa es su capacidad de hacer **asociativo, variacional y paramétrico** de forma bidireccional con todas sus aplicaciones. Además utiliza el **Gestor de diseño (FeactureManager)** que facilita enormemente la modificación rápida de operaciones tridimen-

sionales y de croquis de operación sin tener que rehacer los diseños ya plasmados en el resto de sus documentos asociados.

Junto con los módulos de diseño de Pieza, Ensamblajes, Dibujo, SolidWorks incluye Herramientas de Productividad, de Gestión de Proyectos, de Presentación, de Análisis y Simulación que lo hacen uno de los estándares de diseño mecánico más competitivo del mercado.

3.3.2. DraftSight

DraftSight es un programa gratuito propietario de CAD 2D (Diseño Asistido por Computadora) para ingenieros, arquitectos, diseñadores, estudiantes y educadores. El producto fue desarrollado por Dassault Systemes y permite a los usuarios crear, editar y visualizar archivos DWG y DXF.

Un archivo DWG contiene los datos binarios para el diseño CAD y es el formato de dibujo de muchos programas de CAD. DWG es una abreviatura de “drawing” (“dibujo”, en ingles). Un archivo DXF se utiliza para convertir archivos de CAD a un formato genérico que puede ser leído por otros productos de Software de CAD. Este Software está disponible para estos sistemas operativos: Windows, Mac OS X, Linux.

3.4. Acero al carbón y estructural

El término *acero* indica una aleación de hierro, carbono, manganeso y uno o mas elementos importantes. El carbón tiene un gran efecto sobre la resistencia, dureza y ductilidad de cualquier aleación de acero. Los demás elementos afectan la capacidad de templeabilidad, tenacidad, resistencia a la corrosión, maquinabilidad y conservación de la resistencia a altas temperaturas. A medida que aumenta el contenido de carbono, también aumenta la resistencia y la dureza, con las mismas condiciones de procesamiento y tratamiento térmico. Ya que la ductilidad disminuye al aumentar el carbono, la selección de un acero adecuado implica cierto compromiso entre resistencia y ductilidad.

Los aceros estructurales utilizados hoy en día comenzaron a ser producidos hace tan solo unos pocos años. Fueron los avances de la metalurgia logrados a mediados del siglo XX los que permitieron desarrollarlos, y su aplicación inicialmente se suscribió a la construcción de puentes y grandes edificios, dado que no eran comerciales ni aparecían relacionados en los códigos. Con el tiempo se fueron incorporando en las especificaciones, y los ingenieros comenzaron a usarlos masivamente. En los Estados Unidos, las características de la mayoría de estos aceros están codificadas por la American Society of Testing Materials (ASTM).

3.4.1. Acero AISI 1018

Acero al carbono con 0.15 - 0.20 % de carbón. Entre los aceros de bajo carbono, es el mas versátil por sus características; análisis controlado, mejores propiedades mecánicas que otros aceros del mismo tipo por su alto contenido de manganeso, buena soldabilidad, buena maquinabilidad. Se utiliza en la fabricación de partes para maquinaria; automotriz, equipo de proceso, agrícola, etc., que no estén sujetos a grandes esfuerzos. Lo podemos encontrar en formas y acabados como barra redonda, cuadrada, hexagonal, y solera, laminadas o forjadas en caliente, estiradas en frío y peladas o maquinadas. En el cuadro 3.2 se muestran sus propiedades mecánicas.

3.4.2. Acero AISI 1045

Acero al carbono con 0.43 - 0.50 % de carbón. Es un acero utilizado cuando la resistencia y dureza son necesarios en condición de suministro. Aunque su maquinabilidad no es muy buena, se mejora con el estirado en frío, además con este acabado se vuelve ideal para flechas, tornillos, etc., de alta resistencia. Por sus características de temple, se tiene una amplia gama de aplicaciones agrícola, automotrices, y de maquinaria en general, en la elaboración de piezas como ejes y semiejes, cigueñales, etc., de resistencia media. En el cuadro 3.2 se muestran sus propiedades mecánicas.

3.4.3. Acero ASTM A36

Esta norma es aplicable a una gran variedad de perfiles estructurales laminados en caliente y a placas de la misma calidad que aún están disponibles en el mercado mexicano. Se desarrolló desde hace muchos años en Estados Unidos para la fabricación de estructuras remachadas, atornilladas y soldadas por lo que su soldabilidad es adecuada, mejorando el contenido de carbono de los aceros disponibles en aquella época, como el ASTM A7. Éste grado de acero tiene un punto de fluencia (F_y) de 36 000 *psi* (250 *MPa*) y es muy dúctil, en resumen, es un acero de bajo carbón. En la cuadro 3.2 se muestran sus propiedades mecánicas.

A continuación se muestra en el cuadro 3.1 los materiales (aceros) que se emplearon en el diseño y fabricación del prototipo de arado de cinceles articulado. En este cuadro se muestra el material, la norma en que esta fundamentada, espesor de placas, diámetros de barra redonda y la aplicación de cada material en dicho proyecto.

Cuadro 3.1: Materiales empleados, normas y aplicación.

Material	Acero (norma)	Espesor (<i>in</i>)	Diámetro (<i>in</i>)	Aplicación
Placa	ASTM A36	1.250	-	Brazo, paralelogramo
Placa	ASTM A36	0.750	-	Tercer punto, paralelogramo, porta-brazo
Placa	ASTM A36	0.625	-	Cartabón de refuerzo
Placa	ASTM A36	0.5	-	Tercer punto, paralelogramo, cartabón
Placa	ASTM A36	0.375	-	Rondana de refuerzo
Placa	ASTM A36	0.188	-	Tapa de PTR
Barra redonda	AISI 1018	-	2	Buje de sujeción
Barra redonda	AISI 1045	-	1.750	Perno
Barra redonda	AISI 1045	-	1.625	Perno
Barra redonda	AISI 1045	-	1.5	Perno de paralelogramo
Barra redonda	AISI 1045	-	1.250	Perno de 3pto
PTR 6 X 4	ASTM A36	0.250	-	Bastidores
PTR 4 X 2	ASTM A36	Cal. 7	-	Paralelogramo inferior

3.4.4. Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas de un material determinan su comportamiento cuando se le sujeta a esfuerzos mecánicos. Estas propiedades incluyen el módulo de elasticidad, punto de fluencia (F_y), resistencia

última de tracción (F_u) y dureza. Las propiedades mecánicas son importantes en el diseño porque el funcionamiento y rendimiento de un producto depende de su capacidad para resistir la deformación ante los esfuerzos a que se le someten durante su uso. En el cuadro 3.2 se muestran algunas de las propiedades mecánicas de los aceros utilizados en este proyecto.

Cuadro 3.2: Propiedades mecánicas de los aceros empleados.

Acero	M. de Elasticidad (GPa)	Fluencia F_y (MPa)	Tracción F_u (MPa)
Acero estructural ASTM A36	200	250	400
Acero al carbón AISI 1018	205	370	440
Acero al carbón AISI 1045	200	310	565

3.4.5. Herramientas y equipos de laboratorio

El laboratorio de prototipo de Ideaa es un área destinado a la etapa de fabricación y prueba de cualquier prototipo realizado por el centro de investigación. El personal de esta área se encarga de la fabricación en base a conocimientos bien fundamentados de corte de piezas, maquinado en torno y en fresadora, soldadura con microalambre MIG (Metal Inert Gas), corte con plasma, y otras técnicas de ensamble y fabricación. Enseguida se muestra un listado de herramientas que se utilizaron en la fabricación del presente proyecto.

- Sierra cinta
- Taladro fresador
- Máquina de soldadura microalambre MIG
- Pulidora
- Torno convencional
- Prensa C
- Oxicorte

3.5. Especificaciones del implemento de referencia

Inicialmente para el diseño de este nuevo prototipo se usó como referencia un multicultivador de la serie MCC 3/5/7 con sus respectivos brazos, figura 3.1. Éste implemento es de la marca BISON de la empresa TECNOMEC AGRÍCOLA ubicada en Aguascalientes, Ags.



Figura 3.1: Multicultivador MCC 3/5/7.

El MCC 3/5/7 está diseñado para roturar y remover completamente de un solo paso el terreno, logrando una profunda penetración, rompiendo la capa arable y el subsuelo, proporcionando una óptima oxigenación del suelo. Los brazos se desplazan a cualquier distancia entre puntas en dos barras paralelas lo que reduce el consumo de potencia. El chasis cuenta con dos cuerpos para el acomodo de los brazos, lo que permite el flujo y la incorporación de los residuos de cosecha evitando así el atascamiento entre puntas, característica única. Las especificaciones se muestran en el cuadro 3.3.

Cuadro 3.3: Especificaciones del multicultivador MCC 3/5/7.

Tipo de enganche	3 Puntos Categoría II		
Número de brazos	3	5	7
Caballaje mín. del tractor (<i>hp</i>)	65	85	110
Ancho de trabajo (<i>m</i>)	0.90-3.00	1.50-2.10	2.10
Distancia ajustable entre brazos (<i>cm</i>)	30-100	30-50	Barbecho (30)
Peso aproximado (<i>kg</i>)	500	610	720

3.6. Especificaciones de prototipo inicial

El concepto de prototipo inicial es de tipo integral (con acoplamiento de tres puntos al tractor), cuenta con dos reguladores de profundidad,

para brazos delanteros y traseros. Los brazos delanteros son regulados mediante un sistema de gato de tornillo sin-fin; los brazos traseros son regulados mediante el mecanismo de paralelogramo, mediante cilindros hidráulicos, los cuales trabajarán en diferentes posiciones, figura 3.2. Se muestra también en el cuadro 3.4 los componentes que conforman el prototipo.

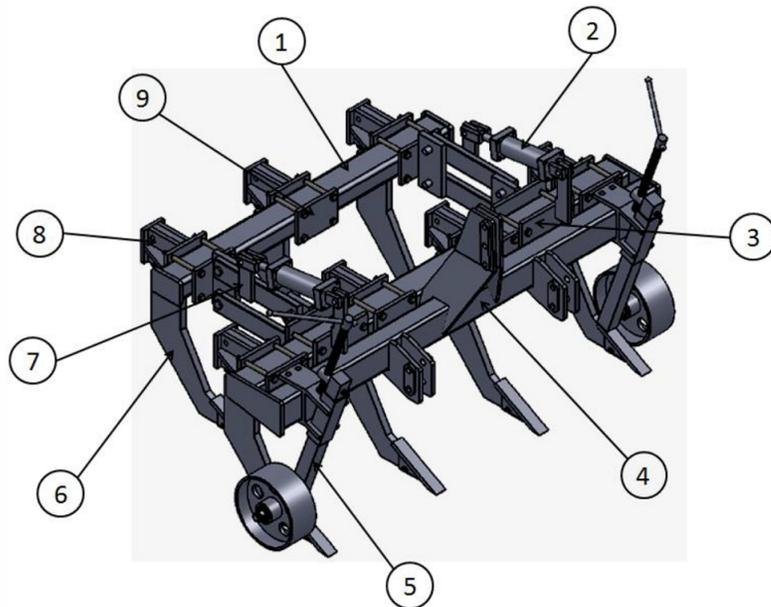


Figura 3.2: Prototipo inicial de arado de cinceles articulado.

Cuadro 3.4: Componentes de prototipo inicial de arado de cinceles articulado.

Componente	Descripción	Observación	Cantidad
1	Bastidor trasero	-	1
2	Cilindro hidráulico	-	2
3	Soporte frontal de cilindro	Diseño de MCC 3/5/7	7
4	Bastidor delantero	-	1
5	Mecanismo gato sin-fin	-	2
6	Brazo	Diseño de MCC 3/5/7	7
7	Mecanismo de paralelogramo	-	2
8	Cajón porta-brazo	Diseño de MCC 3/5/7	7
9	Soporte frontal de caja	-	7

3.7. Diseño Conceptual

La mayor parte del los diseños mecánicos pasan por un ciclo de actividades, en la figura 3.3 se muestran el diagrama de flujo para el diseño del prototipo de arado de cinceles.

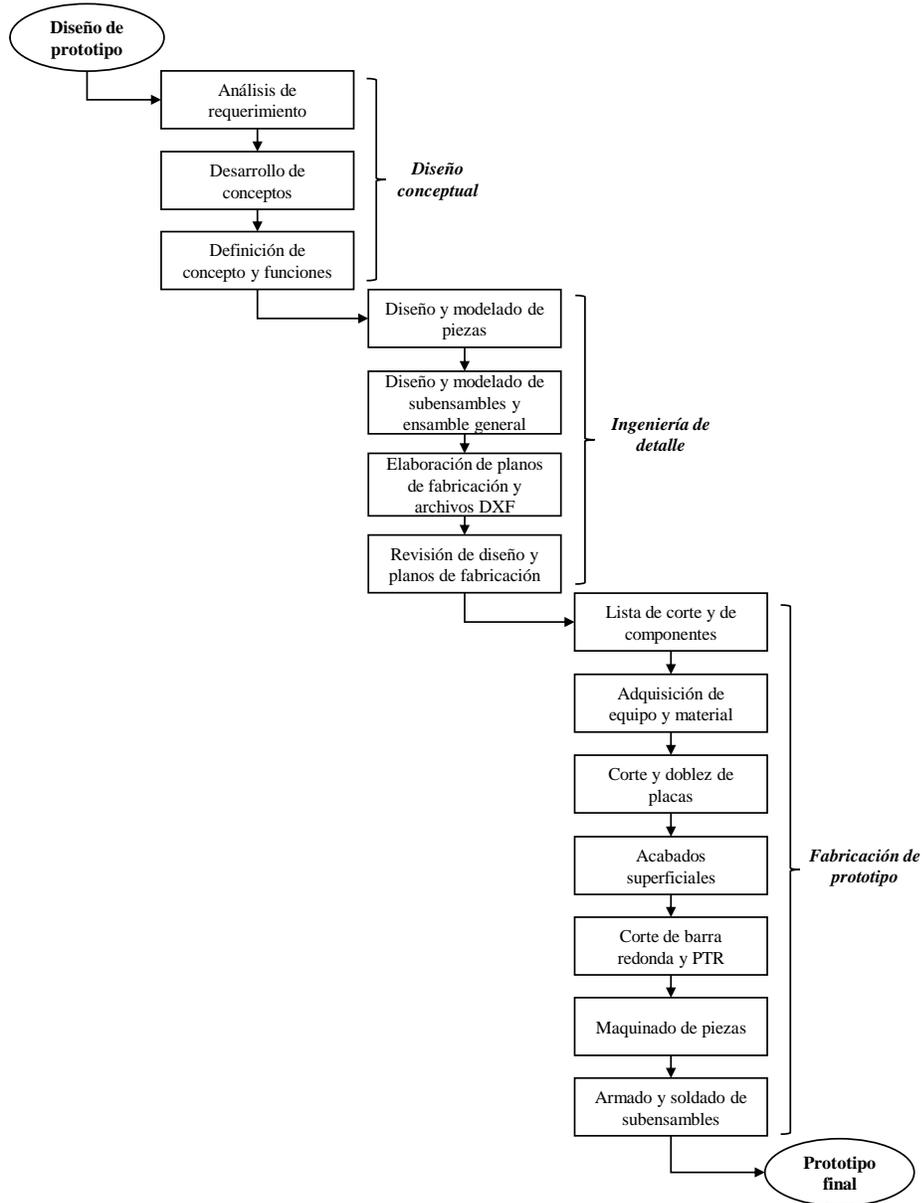


Figura 3.3: Diagrama de flujo.

3.7.1. Análisis de requerimiento

Entre los principales requisitos de diseño que el departamento de Maquinaria Agrícola de la UAAAN requiere para este proyecto se pueden destacar la resistencia y confiabilidad de todos los componentes del prototipo en condiciones de campo en donde la demanda de potencia con respecto a un tractor agrícola categoría II sea alta, que el enganche del prototipo sea de tipo integral para el acoplamiento a dicho tractor, que el prototipo cuente con un mecanismo de paralelogramo articulado entre el bastidor delantero y el bastidor trasero, que los dos bastidores estén diseñados para diferentes acomodos de porta-brazos para estos mismos brazos.

3.7.2. Desarrollo de conceptos

Como primera propuesta se puede tomar el diseño inicial del prototipo, éste diseño se realizó en la Universidad con la aportación de diseño de Velázquez, 2011.

Como segunda propuesta se debe destacar un diseño posterior a la inicial, también realizada por la UAAAN, este diseño es completamente diferente con respecto al diseño inicial, unos de los cambios que se realizaron son la posición de los cilindros hidráulicos, el mecanismo de paralelogramo completamente diferente, los bastidores delantero y trasero pueden trabajar con diferentes arreglos.

Analizando los dos diseños anteriores llegamos a una tercera propuesta; un nuevo diseño para este prototipo en la que al llevar a cabo la fabricación, ésta sea factible. Algunas mejoras que podemos mencionar en esta propuesta son las tolerancias necesarias y requeridas por parte de Ideaa, fundamentos de diseño y fabricación, asignación de material adecuado para cada componente del proyecto, fundamento de elaboración de planos de fabricación, etc.

3.7.3. Definición de conceptos y funciones

Evaluando las propuestas anteriores podemos tomar la tercera propuesta como concepto definitivo. En este concepto de prototipo, la principal función que debe realizar es que el mecanismo de paralelogramo pueda variar la profundidad de penetración de los brazos traseros, también se necesita acomodar los brazos a diferentes distancias entre ellas para hacer pruebas con diferentes configuraciones. Las diferentes configuraciones de diseño se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro 3.5: Configuraciones de diseño.

Configuración	Descripción
1	Arreglo de 4 - 3 brazos con separación de 60 <i>cm</i>
2	Arreglo de 4 - 3 brazos con separación de 50 <i>cm</i>
3	Arreglo de 4 - 3 brazos con separación de 40 <i>cm</i>
4	Altura de elevación máxima para brazos traseros
5	Altura de elevación mínima para brazos traseros

3.8. Ingeniería de detalle

En este apartado se describe el proceso de diseño y modelado de cada pieza del proyecto así como el modelado de subensambles y ensamble general. Este proceso se realizó con fundamentos de diseño mecánico así como con conocimiento de diseño asistido por computadora explicado anteriormente.

3.8.1. Diseño y modelado de piezas

En Solidworks todo proceso de creación de un modelo tridimensional requiere de la definición inicial de un croquis en 2D al que se le dota de una tercera dimensión (operación) para obtener un sólido o superficie de tres dimensiones. En resumen, la creación de un modelo 3D exige la definición previa de un contorno en 2D.

Para el diseño y modelado de piezas se utilizó el Módulo de Pieza de SolidWorks partiendo de un concepto realizado en la Universidad.

Los contornos se crearon mediante las Herramientas de Croquizado sobre un Plano previamente seleccionado. A continuación se definen geoméricamente mediante la Acotación (dimensional y angular) y/o la Agregación de Relaciones Geométricas entre entidades del propio croquis (Concentricidad, tangencial, etc.), ver figura 3.4.

Las diferentes piezas modeladas tienen especificaciones de diseño de las que podemos mencionar el material asignado ASMT A36 en el caso de las placas y PTR, en el caso de diseños de pernos y bujes el material asignado son AISI 1045 y AISI 1018, las características y propiedades ya fueron mencionados en apartados anteriores.

También dentro de las especificaciones de diseño que se tomó en cuenta las tolerancias de 0.381 mm (0.015 in) y 0.250 mm (0.010 in) dependiendo del calibre de la placa para que esta no causara problema en la fabricación de los subensambles. Siendo las tolerancias de 0.793 mm (0.031 in) y 0.381 mm (0.015 in) para el barrenos de tornillos y pernos consecutivamente. En la figura 3.5 se muestra un ejemplo de un modelo de pieza terminado.

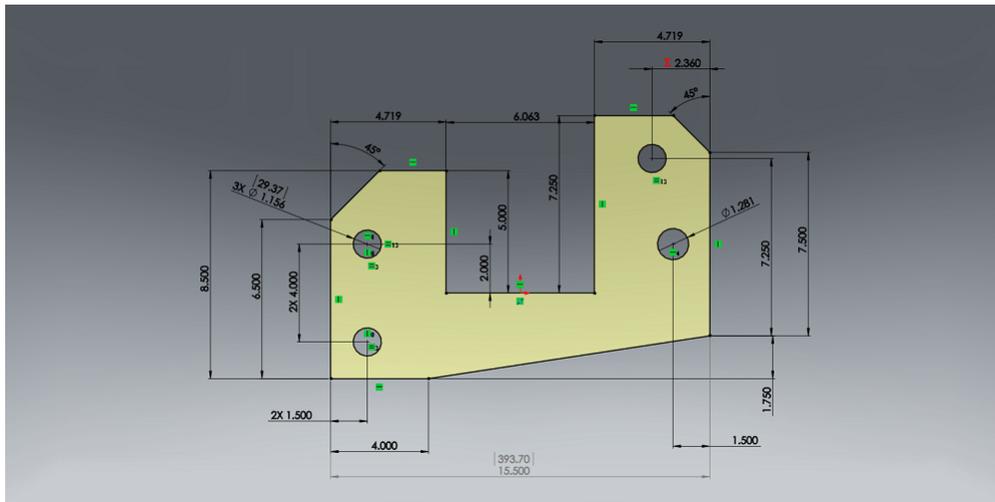


Figura 3.4: Diseño de pieza a partir de un croquis.

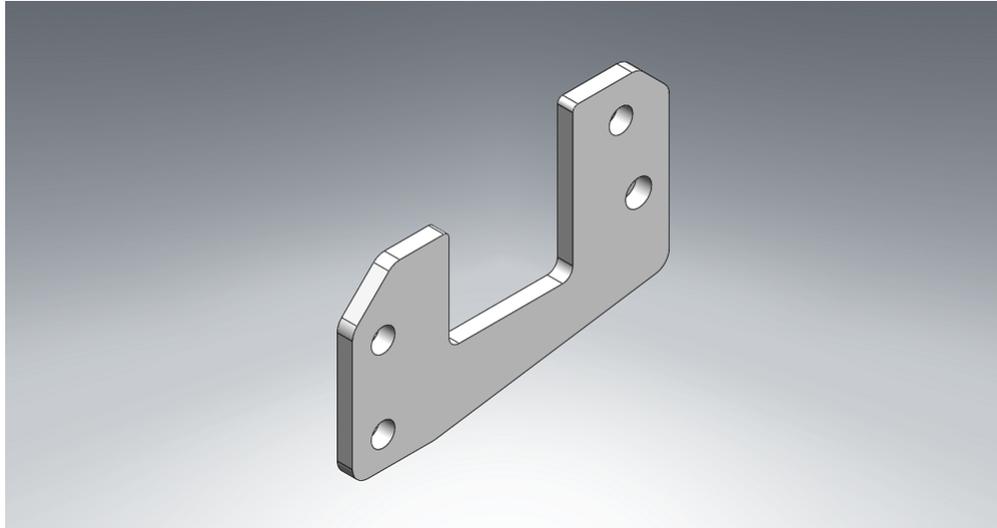


Figura 3.5: Modelo de pieza terminado.

3.8.2. Diseño y modelado de subensambles

La creación de ensamblajes o conjuntos, consiste en insertar cada una de las piezas o modelos realizados en el Módulo de Pieza y establecer las Relaciones de Posición entre cada uno de ellos. Para el diseño y modelado de subensambles se utilizó el Módulo de Ensamblaje de SolidWorks que es la aplicación que permite crear ensamblajes o conjuntos mecánicos.

Para la creación de los diferentes subensambles del prototipo, se llevó a cabo en dos etapas. En la primera, las piezas se importaron al Módulo de ensamblaje y en la segunda se establecieron Relaciones geométricas de posición entre cada una de ellas. Las relaciones que se definieron fueron del tipo Coincidencia, Tangencia, Concentricidad, etc., y se definieron entre caras, superficies, aristas, vértice, etc., de dos o más piezas. En la figura 3.6 se muestra un ejemplo de un subensamble del prototipo.

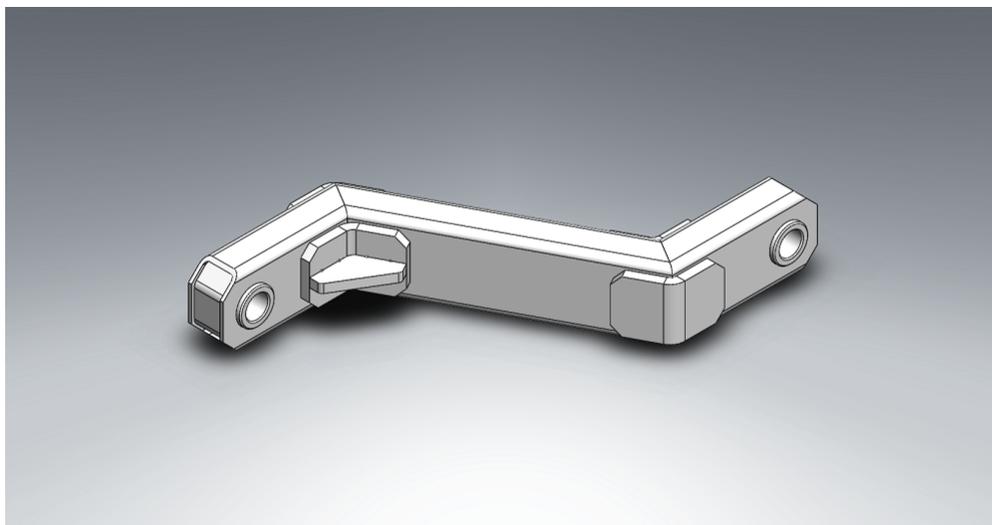


Figura 3.6: Subensamble del paralelogramo inferior.

El prototipo de arado de cinceles es de tipo integral, por lo que fue necesario diseñar el sistema de enganche de 3 puntos. Este sistema de enganche está diseñado con forma a la norma ISO 730-1:1994(E), en donde se consideraron dimensiones de separación y altura normalizados de los puntos de enganche según la categoría de tractor de tipo II como se muestran en las figuras 3.7 y 3.8.

Dimensiones con respecto al tractor: Las dimensiones se aplican a un tractor equipado con el rango normal de tamaños de neumáticos según lo recomendado por el fabricante, ver cuadro 3.6.

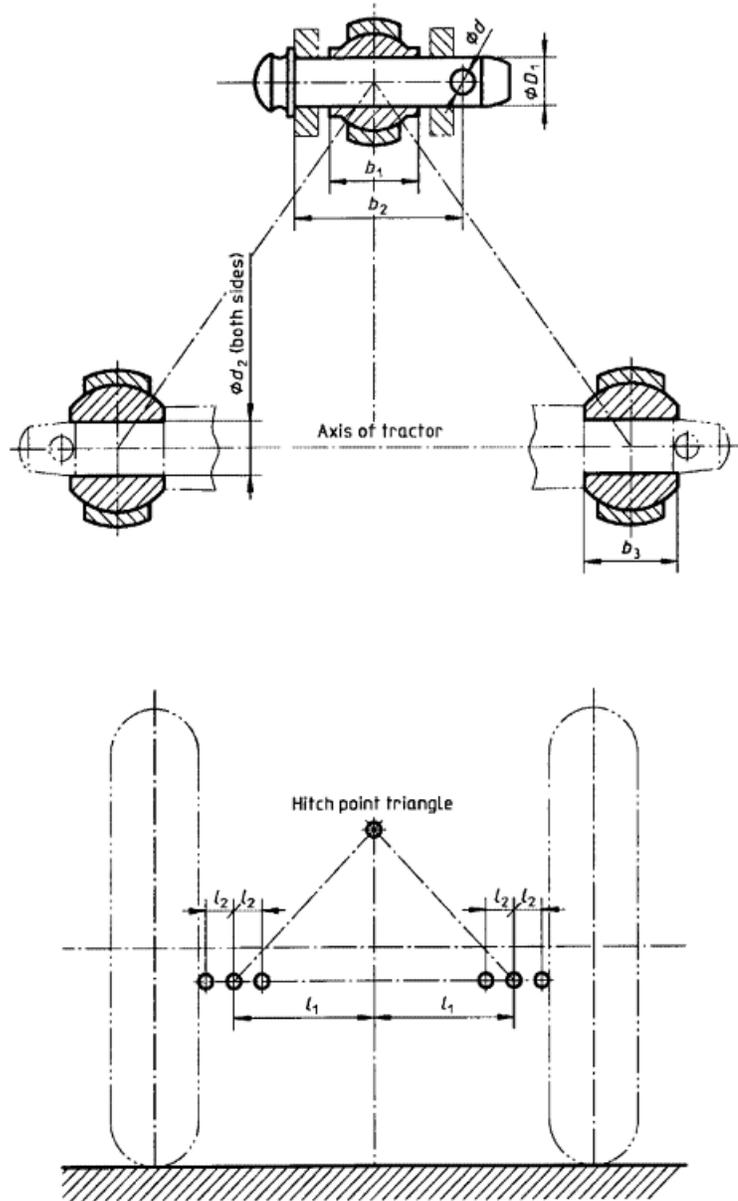


Figura 3.7: Dimensiones correspondientes a los puntos de enganche del tractor.

Cuadro 3.6: Dimensiones correspondientes a los puntos de enganche del tractor.

Dimensions in millimeters

Dimension	Description	See figure	Category				
			1	2	3	4L	4H
Upper hitch points							
D_1	Diameter of hitch pin	4	$19 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.08 \end{smallmatrix}$	$25,5 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.13 \end{smallmatrix}$	$31.75 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.2 \end{smallmatrix}$	$45 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.8 \end{smallmatrix}$	$45 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.8 \end{smallmatrix}$
b_1	Width of ball	4	44 max.	51 max.	51 max.	64 max.	64 max.
b_2	Linch pin hole distance	4	76 min.	93 min.	102 min.	140 min.	140 min.
Lower hitch points							
d_2	Diameter of hitch pin hole	4	$22.4 \begin{smallmatrix} +0.25 \\ 0 \end{smallmatrix}$	$28.7 \begin{smallmatrix} +0.3 \\ 0 \end{smallmatrix}$	$37.4 \begin{smallmatrix} +0.35 \\ 0 \end{smallmatrix}$	$51 \begin{smallmatrix} +0.5 \\ 0 \end{smallmatrix}$	$51 \begin{smallmatrix} +0.5 \\ 0 \end{smallmatrix}$
b_3	Width of ball	4	$35 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.2 \end{smallmatrix}$	$45 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.2 \end{smallmatrix}$	$45 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.2 \end{smallmatrix}$	$57.5 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.5 \end{smallmatrix}$	$57.5 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.5 \end{smallmatrix}$
l_1	Lateral distance from lower hitch point to centerline of tractor ¹⁾	4	359	435	505	610 or 612	610 or 612
l_2	Lateral movement of lower hitch point	4	100 min.	125 min.	125 min.	130 min.	130 min.
L	Distance from end of power take-off to center of lower hitch point, with the lower link horizontal ²⁾³⁾	3	500 to 575	550 to 625	575 to 675	575 to 675	610 to 670

Dimensiones con respecto al implemento, ver cuadro 3.7

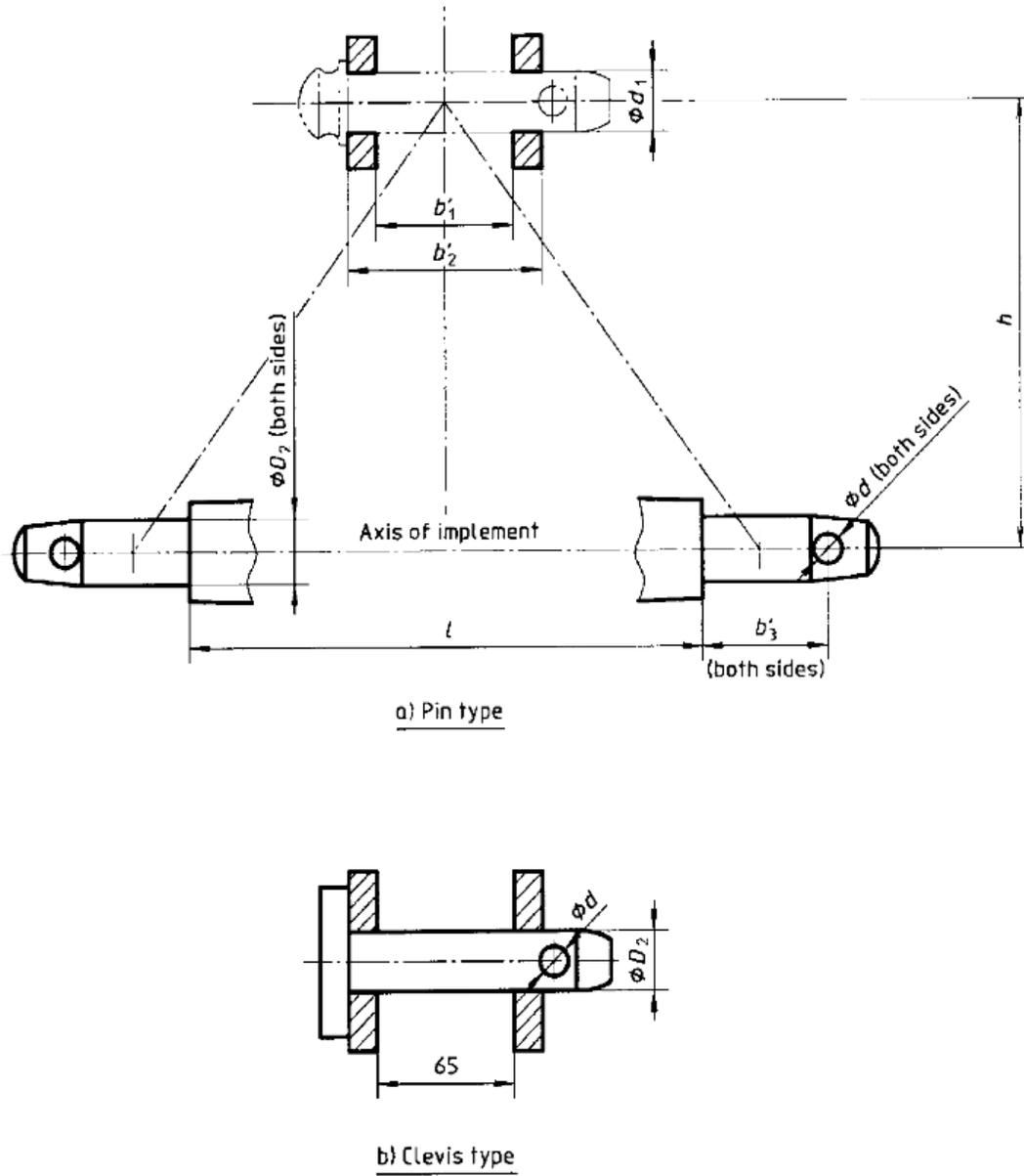


Figura 3.8: Dimensiones correspondientes al implemento de enganche.

Cuadro 3.7: Dimensiones correspondientes al implemento de enganche.

		Dimensions in millimeters				
Dimension (see Figure 5)	Description	Category				
		1	2	3	4L	4H
Upper hitch attachment						
d_1	Diameter of hitch pin hole	$19.3^{+0.2}_0$	$25.7^{+0.2}_0$	$32^{+0.25}_0$	$45.2^{+0.3}_0$	$45.2^{+0.3}_0$
b_1	Width between inner faces of yoke	44.5 min.	52 min.	52 min.	65 min.	65 min.
b_2^*	Width between outer faces of yoke	69 max.	86 max.	95 max.	132 max.	132 max.
Lower hitch attachment						
D_2	Diameter of hitch pin	$22^{0}_{-0.2}$	$28^{0}_{-0.2}$	$36.6^{0}_{-0.2}$	$50.8^{0}_{-1.1}$	$50.8^{0}_{-1.1}$
b_3^*	Linch pin hole distance	39 min.	49 min.	52 min.	68 min.	68 min.
l	Lower hitch point span ¹⁾	683 ± 1.5	825 ± 1.5	965 ± 1.5	$1,166.5 \pm 1.5$	$1,166.5 \pm 1.5$
Other dimensions						
d	Diameter for linch pin hole for upper hitch pin	12 min.	12 min.	12 min.	17.5 min.	17.5 min.
	for lower hitch pins	12 min.	12 min.	17 min.	17.5 min.	17.5 min.
h	Mast height ²⁾	460 ± 1.5	610 ± 1.5	685 ± 1.5	685 ± 1.5	$1,100 \pm 1.5$

En la figura 3.9 se muestra el modelo de diseño terminado del tercer punto del implemento, en los círculos resaltados en color rojo son los tres puntos de enganche hacia el tractor, este modelo a su vez es también el diseño del bastidor delantero.

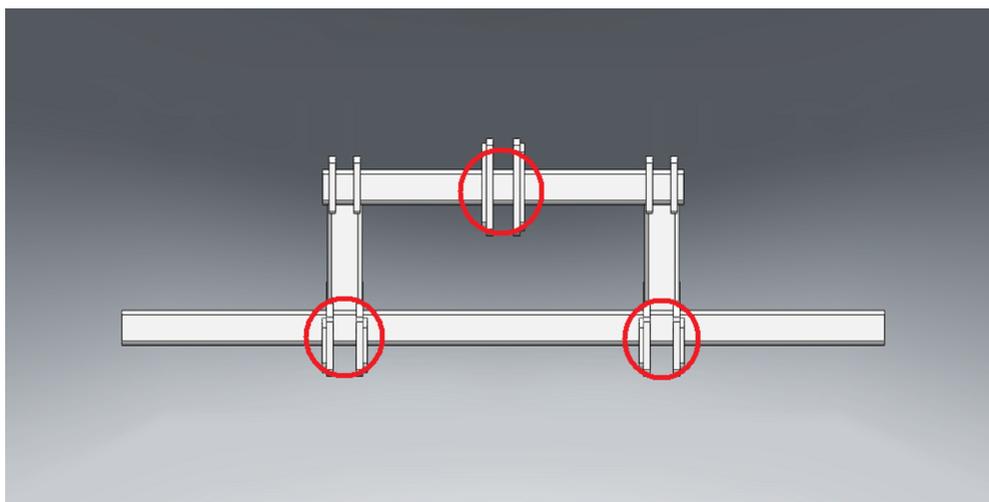


Figura 3.9: Diseño del tercer punto del prototipo.

3.8.3. Diseño y modelado de ensamble general

Para el diseño y modelado del ensamble general también se utilizó el Módulo de Ensamblaje de SolidWorks. Para la creación de este ensamble se llevó a cabo también en dos etapas. En la primera los diferentes

subensambles creados se importaron al Módulo de ensamblaje y en la segunda se establecieron Relaciones geométricas de posición entre cada una de ellas. Las relaciones que se definieron fueron del tipo Coincidencia, Tangencia, Concentricidad, etc. y se definieron entre caras, superficies, aristas, vértice, etc. de dos o más subensamble. En este diseño del ensamble general se tomo en cuenta cinco diferentes configuraciones que se muestran en el apartado de los resultados. En la figura 3.10 se muestra un ejemplo del modelo del ensamble general del prototipo.

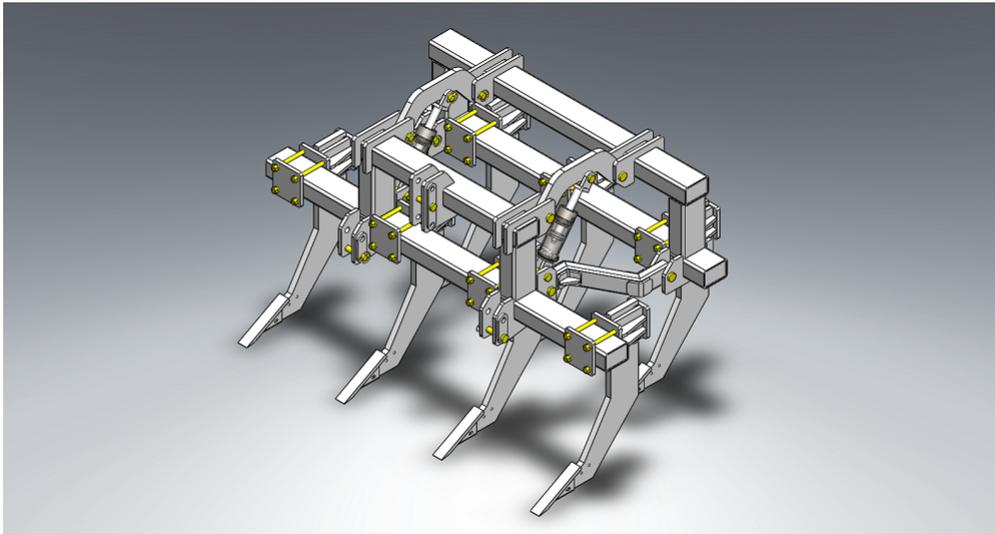


Figura 3.10: Ensamble general del prototipo.

3.8.4. Elaboración de planos de fabricación

El Módulo de dibujo de SolidWorks permite crear planos 2D de las piezas y ensamblajes previamente diseñados. Puede representar las vistas o proyecciones ortogonales (alzado, planta y perfil), Vistas de detalle, Vista de corte, Auxiliares y otros tipos de vistas y Anotaciones que facilitan la comunicación entre la oficina de diseño y la fabricación del prototipo.

Las vistas creadas a partir de una pieza o ensamblaje se caracterizan por su asociatividad con los ficheros de partida. Cualquier plano obtenido (.slddrw) a partir de un documento de pieza (.sldprt) o

ensamblaje (.sldasm) cambia de aspecto cuando son modificados estos últimos, de forma que el usuario no tiene que volver a crear los planos ni actualizarlos.

En este proyecto primeramente se crearon los planos de todos los modelos de piezas, después de los diferentes subensambles y por último el del ensamble general. En todos los casos anteriores se siguieron los siguientes pasos en Solidworks, los últimos 5 son para dibujos de subensambles y ensamble general:

1. Nuevo documento de dibujo
2. Definir tamaño de hoja
3. Configuración de formato de dibujo
4. Creación de vistas (isométrico, alzado, planta y perfil)
5. Definir escala
6. Acotación de dibujo
7. Crear plano de componentes
8. Crear plano de posición
9. Crear plano de soldadura
10. Crear anotación de soldadura, taladro y globos
11. Crear lista de materiales

En la figura 3.11 se muestra un ejemplo de un dibujo de pieza ya finalizado y, en el Anexo de este documento se muestran planos de fabricación del prototipo de arado de cinceles articulado.

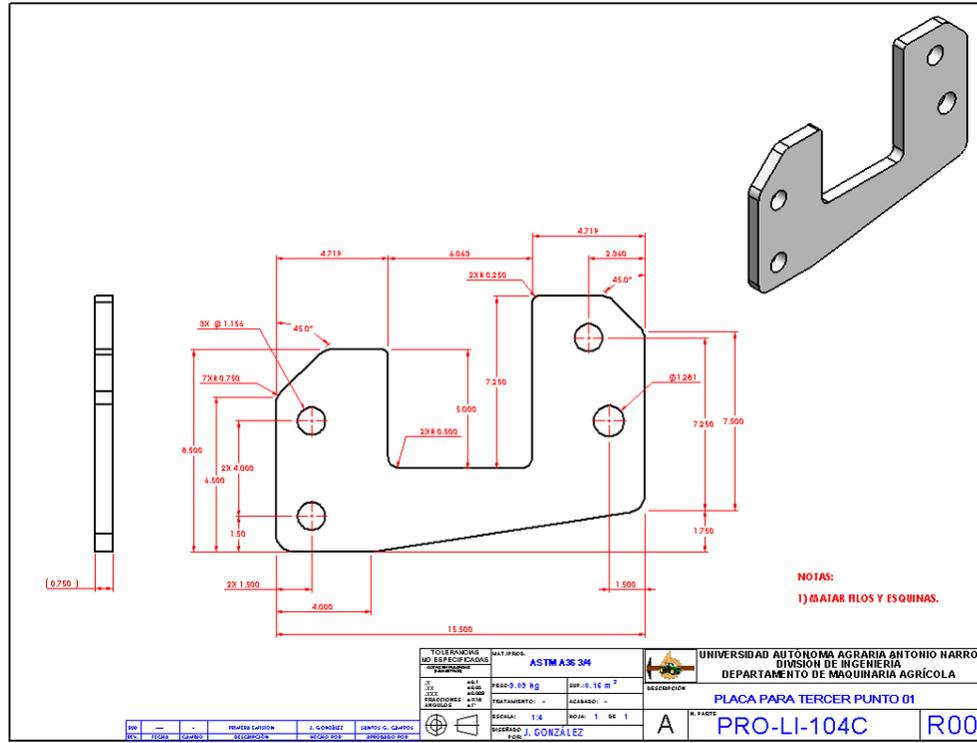


Figura 3.11: Plano de pieza.

3.8.5. Elaboración de archivos DXF para corte en láser u oxicorte

DXF (Drawing Exchange Format) es un formato de archivo para dibujos de diseño asistido por computadora, creado fundamentalmente para posibilitar la interoperabilidad entre los archivos DWG, usados por el programa AutoCAD, y el resto de programas del mercado.

Se generaron dibujos en este formato para todas aquellas piezas que necesitan ser cortadas en láser u oxicorte en especial para láminas y placa de diferentes calibres. Estos formatos son creados desde SolidWorks y son enviados a Tecnomec para ser introducidos en las máquinas de corte láser. En la figura 3.12 se muestra un ejemplo de un dibujo con este formato.

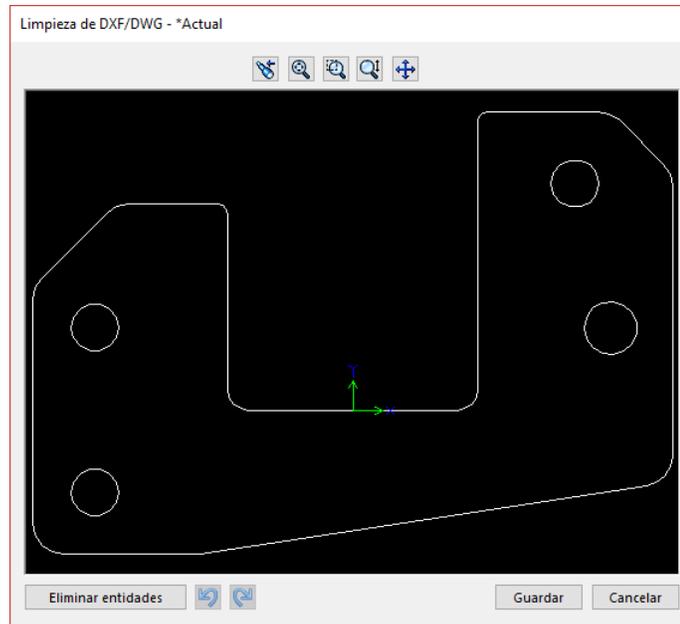


Figura 3.12: Plano de pieza en formato DXF.

3.8.6. Revisión de diseño y planos de fabricación

Finalizado la etapa de la ingeniería de detalle que comprende el diseño del prototipo, se prosiguió a hacer una revisión del diseño, como por ejemplo el modelado de piezas, subensambles, planos de fabricación, tolerancias y factibilidad para la fabricación, esta tarea es apoyada por los ingenieros más experimentados de Ideaa. Después de esta revisión se imprime todos los planos de fabricación de piezas y subensambles para su posterior fabricación en el laboratorio de prototipo.

Capítulo 4

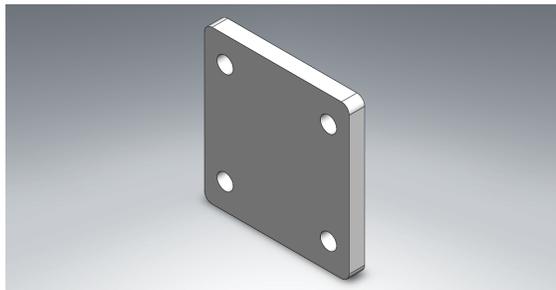
RESULTADOS

En este apartado se presenta el resultado del trabajo realizado, partiendo desde el diseño en CAD hasta la fabricación del prototipo (diseño de cada pieza, asignación de material, definición de tolerancias, subensambles, ensambles general, elaboración de planos de fabricación, elaboración archivos DXF, procesos de manufactura, armado y ensamblado de subensambles y ensamble general, etc.).

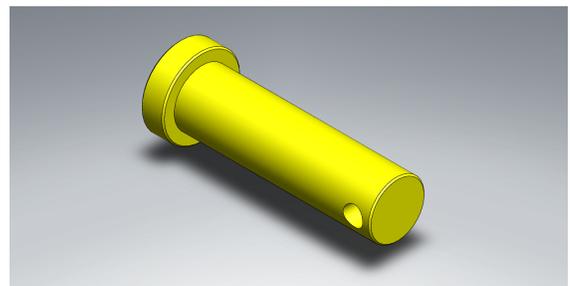
4.1. Modelo de prototipo en 3D

4.1.1. Modelo de piezas

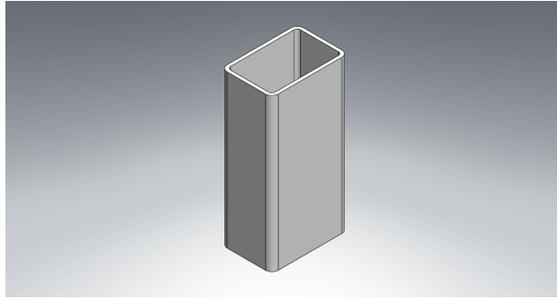
En la figura 4.1 se muestran algunas imágenes de modelos de piezas del prototipo con el diseño definitivo.



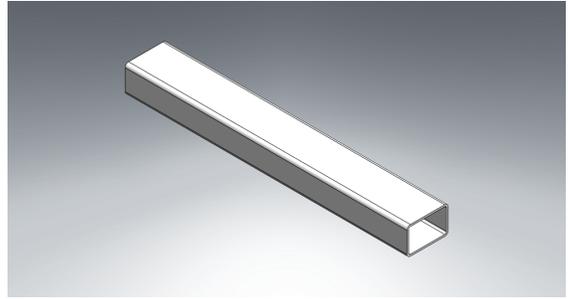
(a) Contra-placa.



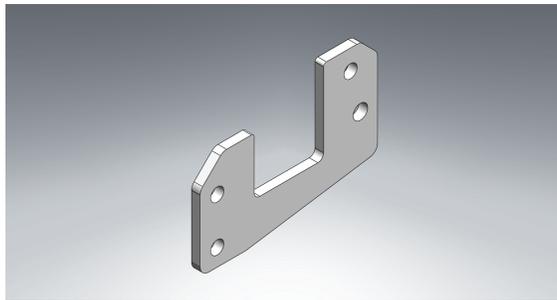
(b) Perno.



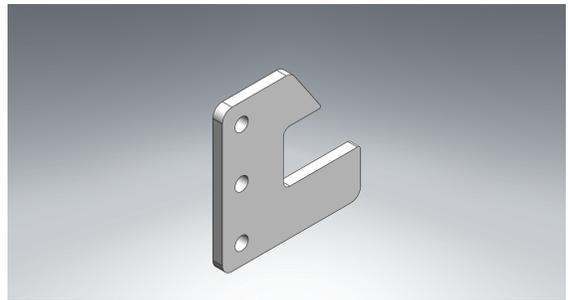
(c) PTR para bastidores.



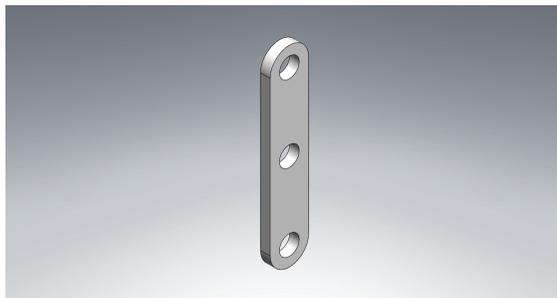
(d) PTR para bastidor delantero.



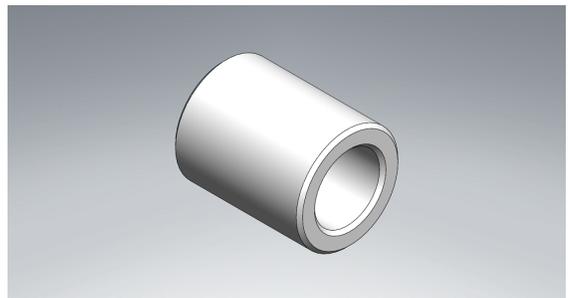
(e) Placa inferior para 3PT



(f) Placa superior para 3PT



(g) Placa de refuerzo.



(h) Buje para paralelogramo inferior.

Figura 4.1: Modelo de piezas con el diseño definitivo.

4.1.2. Modelo de subensambles

En las figuras 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7 y 4.8 se muestran modelos de subensambles del prototipo con el diseño definitivo.

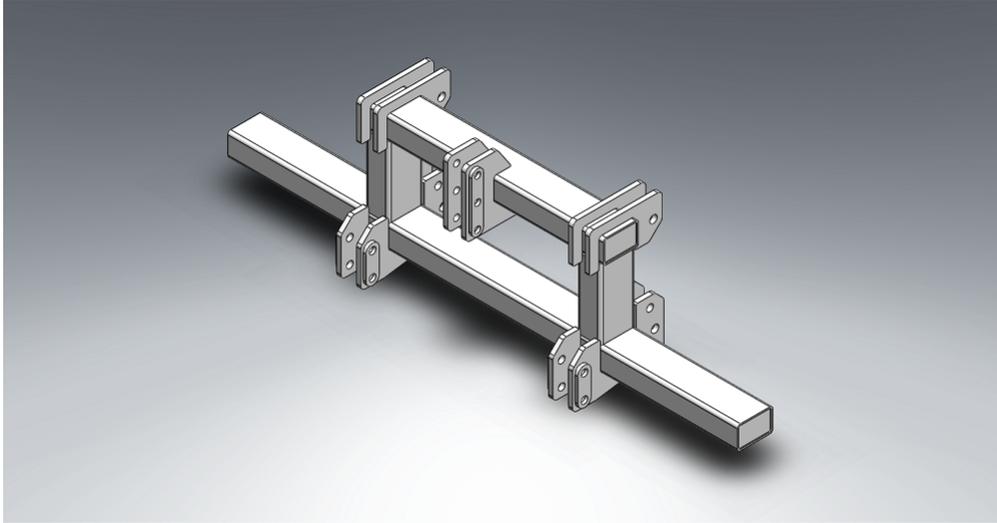


Figura 4.2: Modelo de bastidor delantero.

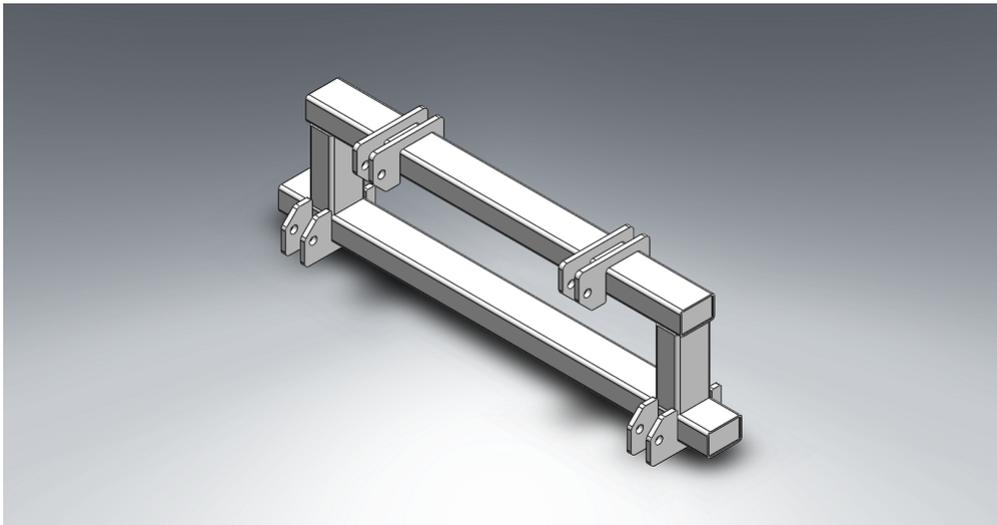


Figura 4.3: Modelo de bastidor trasero.

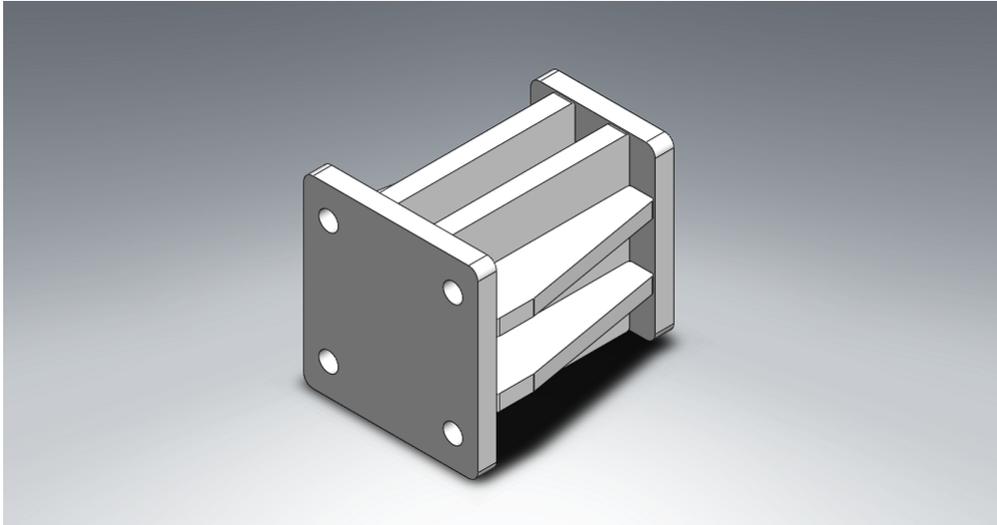


Figura 4.4: Modelo de caja porta-brazo.

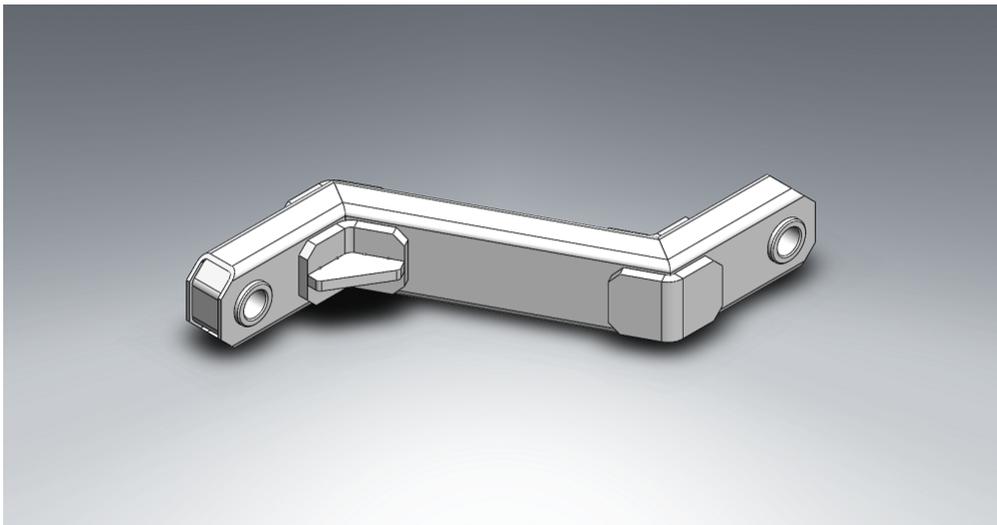


Figura 4.5: Modelo de paralelogramo inferior.

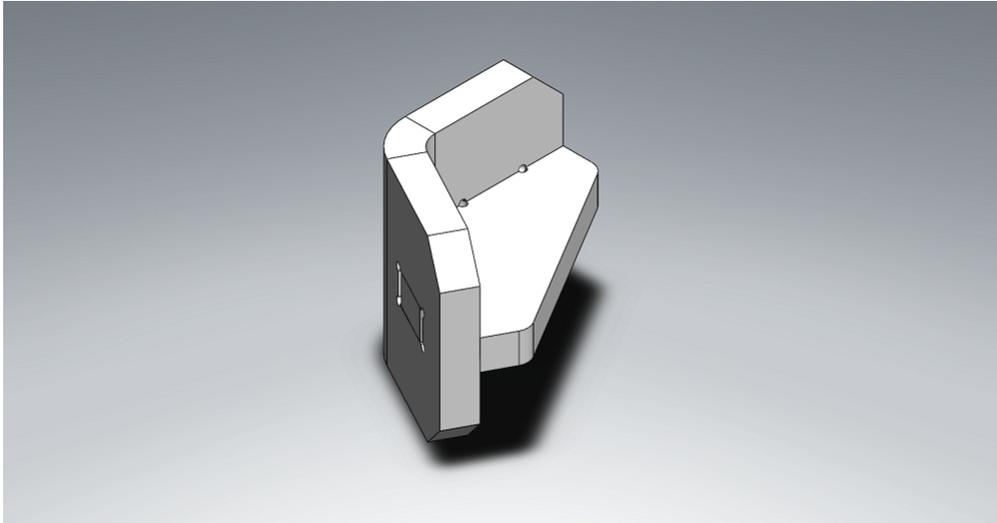


Figura 4.6: Modelo de refuerzo.

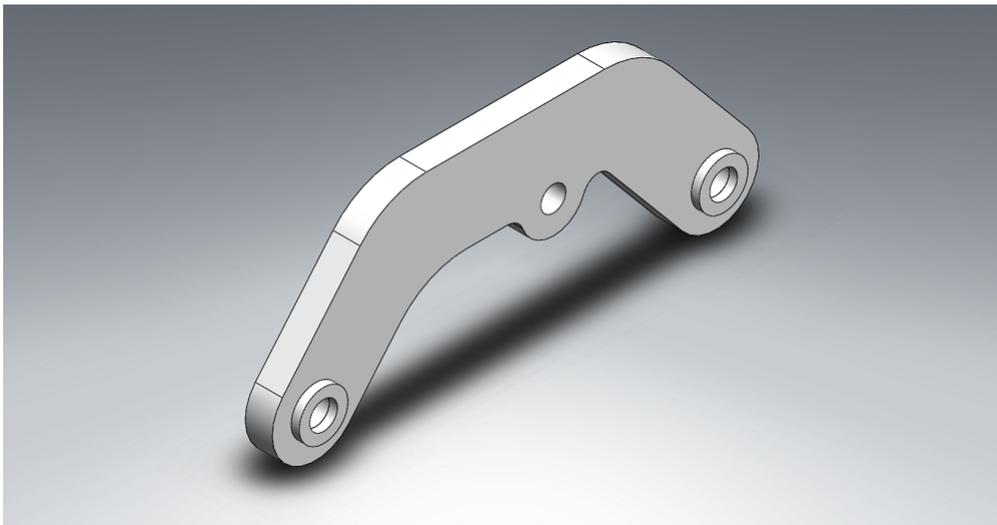


Figura 4.7: Modelo de paralelogramo superior.

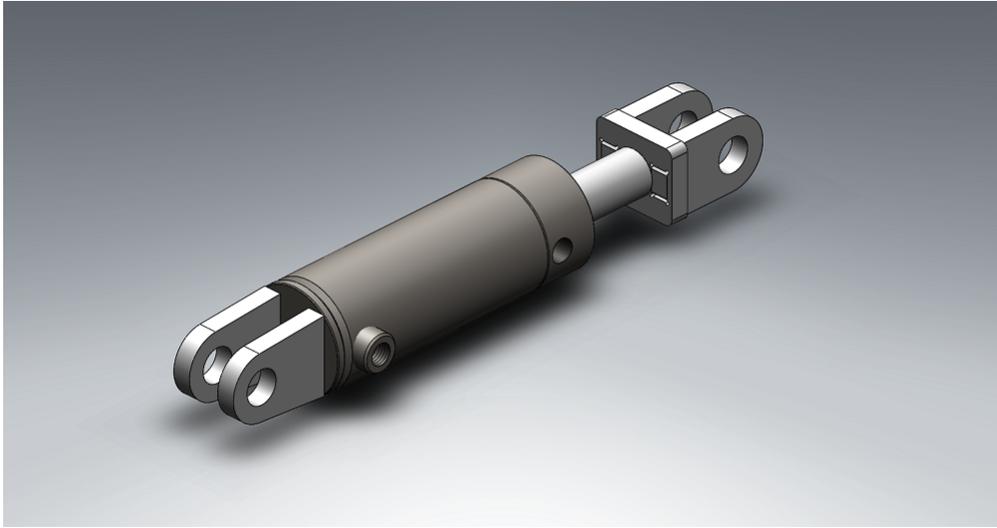


Figura 4.8: Modelo de cilindro hidráulico.

4.1.3. Modelo de ensamble general

En las figuras 4.9 y 4.10 se muestra el modelo general del prototipo con la configuración Núm. 1, que es el arreglo 4 - 3 (4 brazos delanteros y 3 brazos traseros con separación de 60 *cm*).

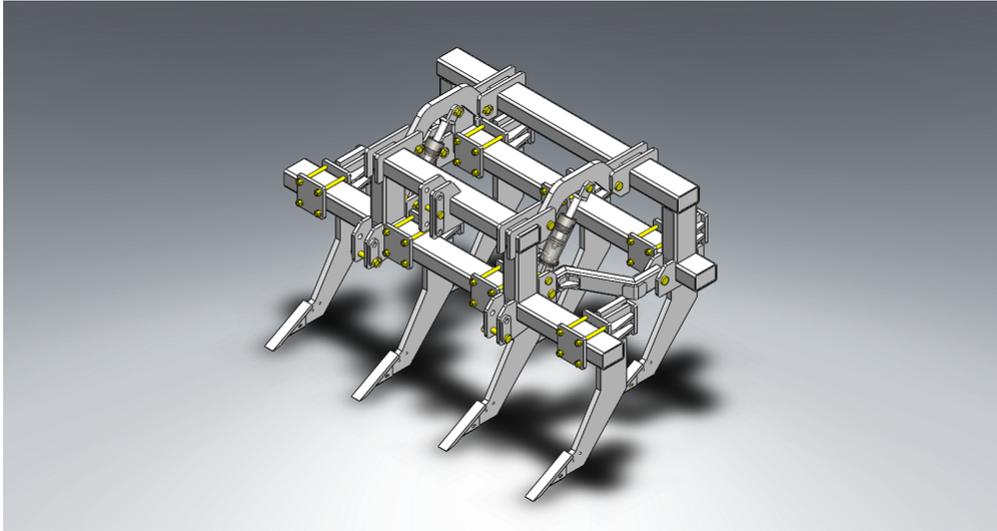


Figura 4.9: Vista isométrica, configuración Núm. 1.

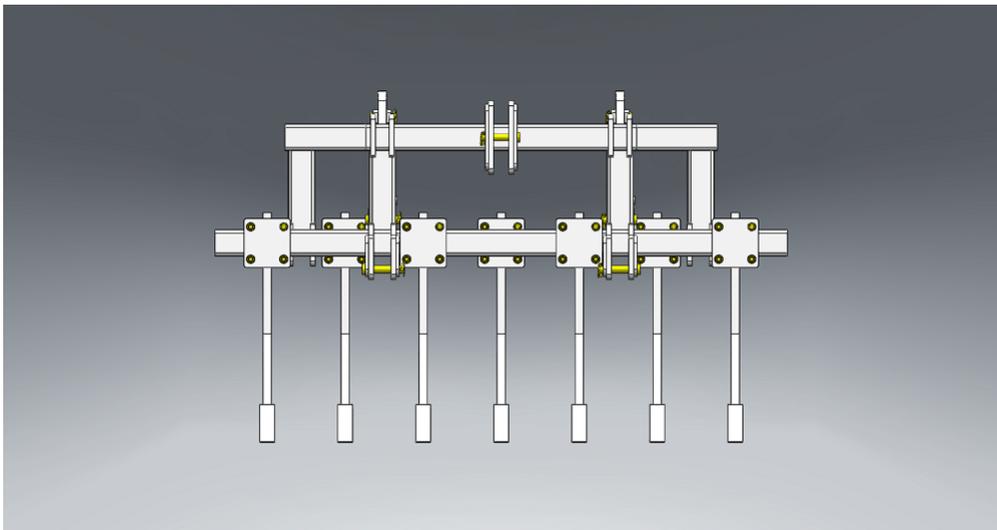


Figura 4.10: Vista frontal, configuración Núm. 1.

En las figuras 4.11 y 4.12 se muestra el modelo general del prototipo con la configuración Núm. 2, que es el arreglo 4 - 3 (4 brazos delanteros y 3 brazos traseros con separación de 50 *cm*).

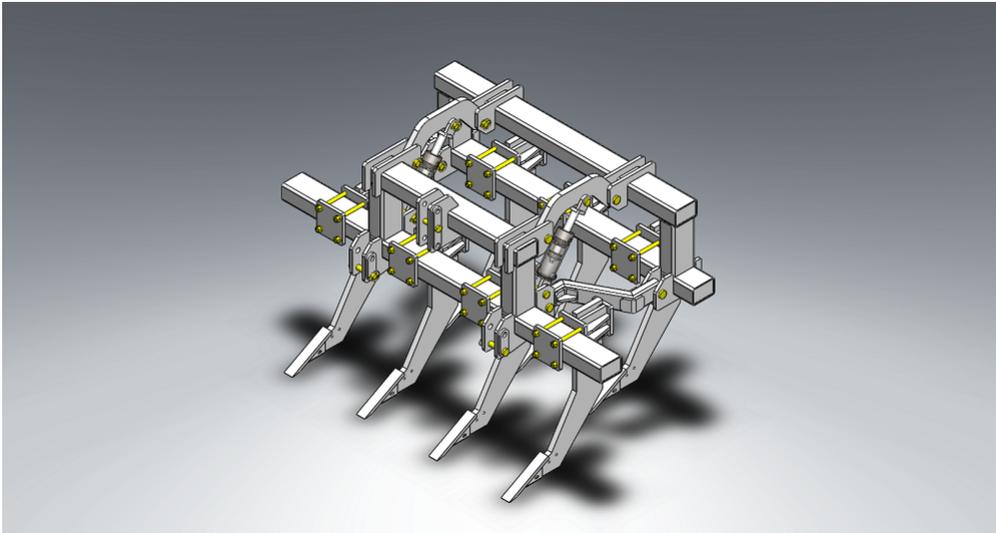


Figura 4.11: Vista isométrica, configuración Núm. 2.

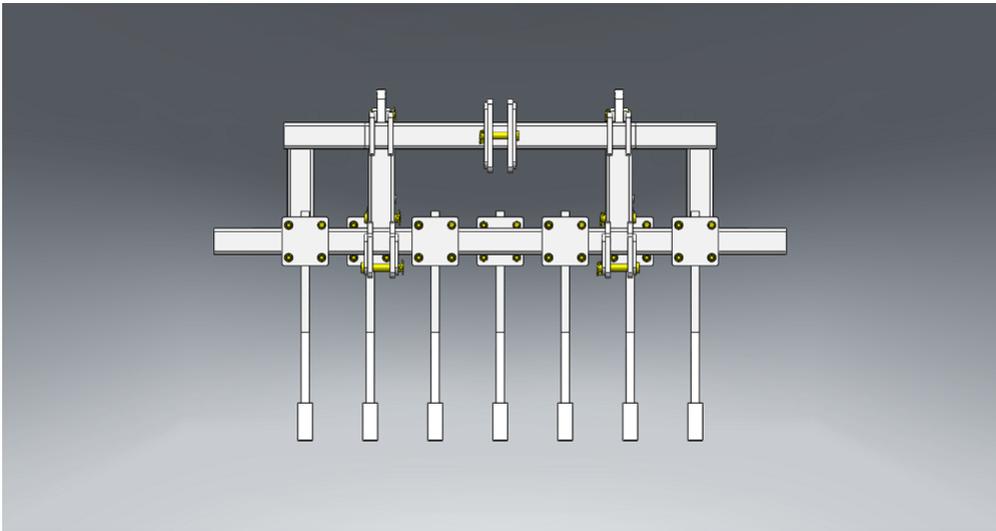


Figura 4.12: Vista frontal, configuración Núm. 2.

En las figuras 4.13 y 4.14 se muestra el modelo general del prototipo con la configuración Núm. 3, que es el arreglo 4 - 3 (4 brazos delanteros y 3 brazos traseros con separación de 40 *cm*).

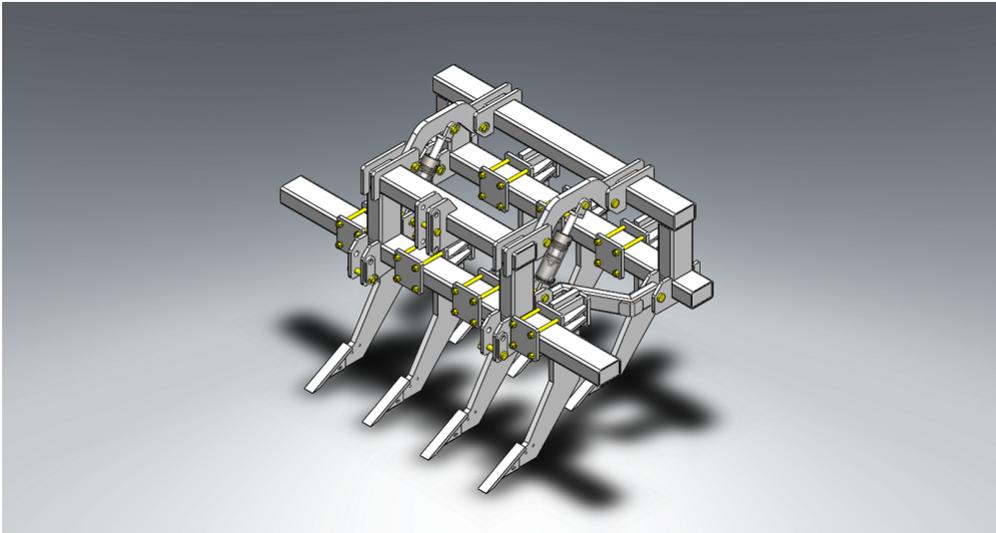


Figura 4.13: Vista isométrica, configuración Núm. 3.

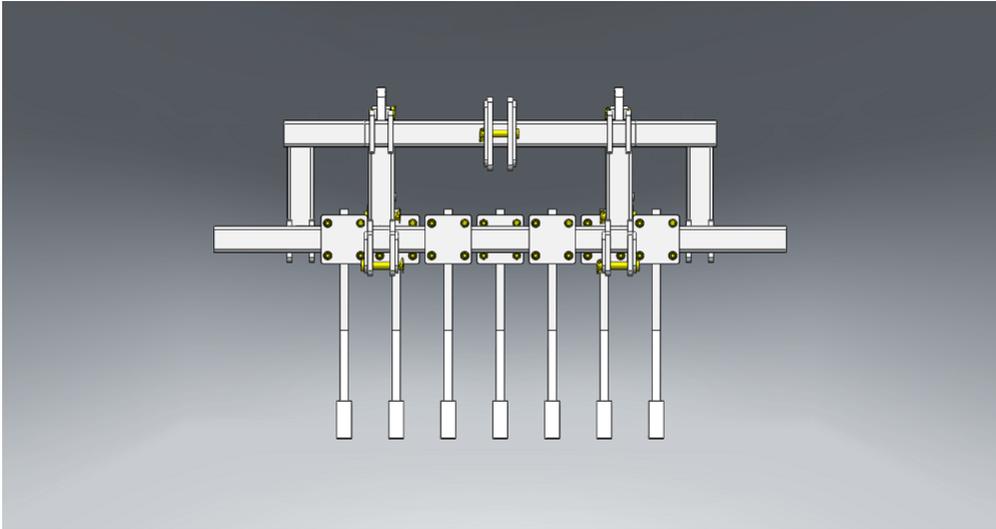


Figura 4.14: Vista frontal, configuración Núm. 3.

En las figuras 4.15 y 4.16 se muestra el modelo general del prototipo con la configuración Num. 4, que es el arreglo con la altura de elevación máxima para los brazos traseros.

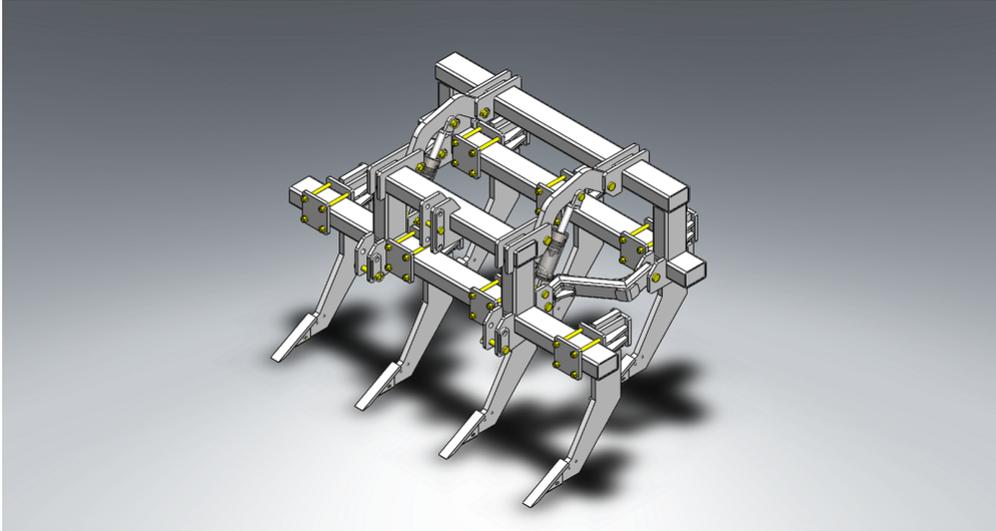


Figura 4.15: Vista isométrica, configuración Núm. 4.

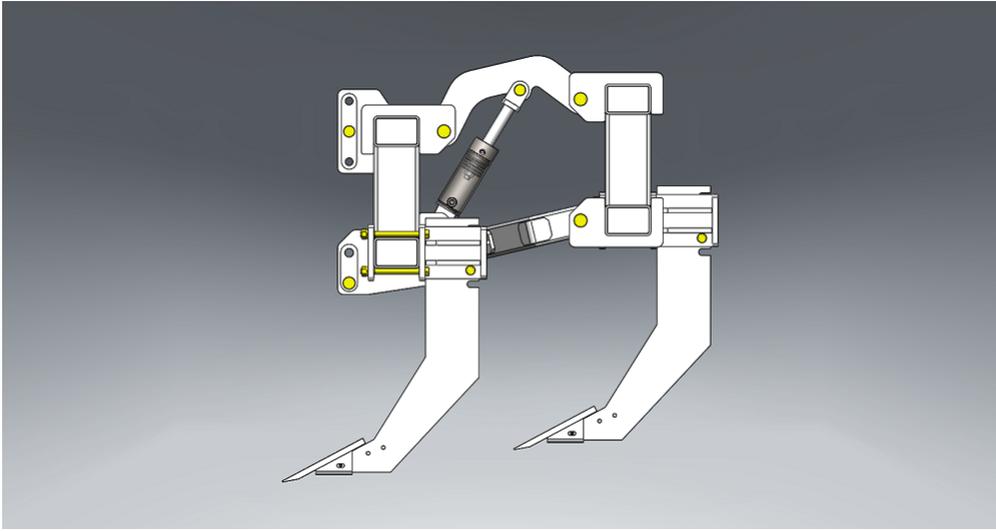


Figura 4.16: Vista lateral, configuración Núm. 4.

En las figuras 4.17 y 4.18 se muestra el modelo general del prototipo con la configuración Núm. 5, que es el arreglo con la altura de elevación mínima para los brazos traseros.

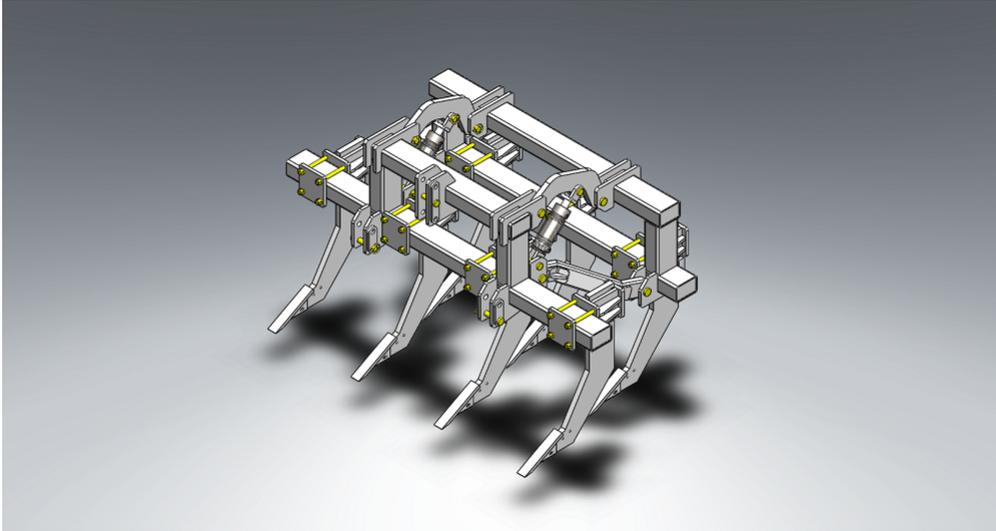


Figura 4.17: Vista isométrica, configuración Núm. 5.

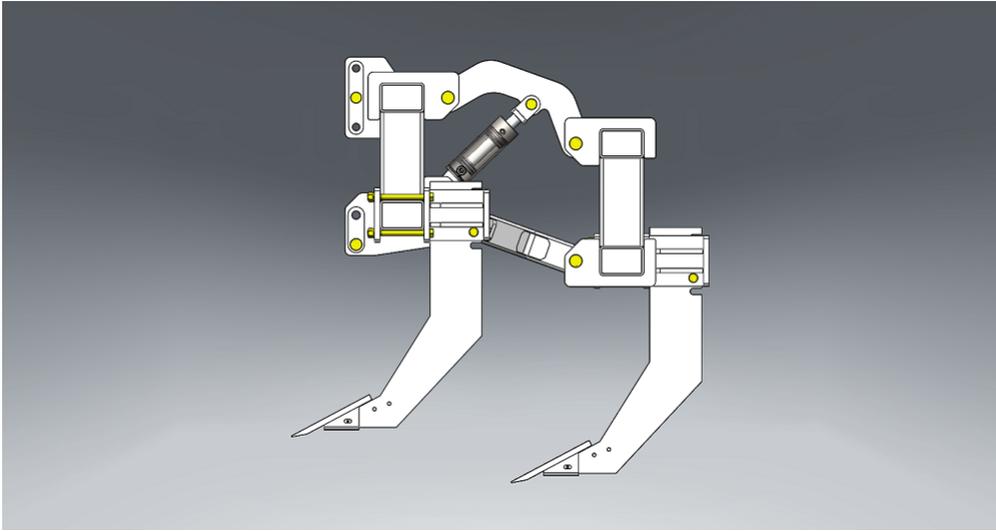


Figura 4.18: Vista lateral, configuración Núm. 5.

4.2. Fabricación de prototipo

Ya terminada la etapa de la ingeniería de detalle; el siguiente paso consiste en la fabricación del prototipo, este proceso se inicia desde el enlistado de todos los componentes que integran este proyecto hasta llegar al prototipo final del mismo.

La etapa de fabricación se llevó a cabo en el área de laboratorio de prototipo de Ideaa en conjunto con Tecnomec Agrícola. A continuación en los apartados siguientes se describe el proceso de fabricación de este proyecto.

4.2.1. Lista de corte y de componentes

Se llevó a cabo la creación de una lista de corte (LDC) para barras redondas y PTR, esta LDC se muestra en el Anexo de este documento. En esta lista se incluye los cortes a diferentes longitudes para cada pieza mas una longitud excedente de 0.250 *in* para evitar falta de material en la adquisición de estas.

También fue necesario crear una lista general de todos los componentes que incluye nuestro proyecto, esta lista se muestra en el Anexo de este documento. Con la ayuda de SolidWorks se puede obtener una lista completa, ya que este programa también nos permite crearla en base a todos los componentes incluidos en nuestro diseño para después poderla manipular con la aplicación de Microsoft Excel. Este es el primer paso para la fabricación de cada proyecto.

4.2.2. Adquisición de equipo y material

Para la iniciación formal de la fabricación de este prototipo fue necesario cerciorarse de contar con las herramientas necesarias así como los equipos y materiales que se emplearon en la fabricación. En el laboratorio de prototipo se cuenta con herramientas y equipos mencionados anteriormente. Los materiales como placas, PTR, barra redonda y tornillería se adquieren con anticipación a los diferentes proveedores de la empresa como serviaceros comercial y toorbol.

4.2.3. Corte y doblez de placas

Se enviaron los planos con formatos DXF al área de procesos de manufactura de Tecnomec Agrícola en donde se le dio el seguimiento de crear el nestéo, posteriormente el corte de todas las placas con rutas y periodos asignados para después ser doblados en esta misma área.

Para el corte de placas utilizaron máquinas cortadoras a láser y oxicorte para diferentes calibres de placas; por ejemplo para placas con los calibres de 0.188 *in* hasta 0.625 *in* son cortados en láser y para placas con los calibres de 0.750 *in* hasta 1.5 *in* son cortados con oxicorte, ambas técnicas de corte utilizan planos de formatos DXF.

Tecnomec cuenta con área de doblez con máquinas dobladoras de alta capacidad de carga, estas fueron las encargadas de llevar a cabo los dobleces de placas que se utilizaron en este proyecto.

4.2.4. Acabados superficiales

En Tecnomec también se lleva a cabo el proceso de careado y arenado, Granallado o chorreado abrasivo, conocido en inglés como SandBlast. Mediante el careado se logra que las caras queden completamente planas, las herramientas que se utilizan son: el torno, el esmeril o una pulidora. El proceso de arenado propulsa a alta presión un fluido, que puede ser agua o aire, o una fuerza centrífuga abrasiva, contra una superficie a alta presión para alisar la superficie o la rugosidad de la superficie o eliminar material contaminante como el óxido, principalmente de componentes de acero estructural.

Para las placas que son cortadas en oxicorte estos procesos son muy comunes ya que con la utilización de esta técnica el acabado no es uniforme. En el presente proyecto se aplicaron estos procesos para placas con calibres de 0.375 *in* y 1.250 *in*, figura 4.19.



Figura 4.19: Acabado de placas.

4.2.5. Corte de barra redonda

El corte de barra redonda se llevó a cabo con la lista de corte creada anteriormente, las piezas que se fabricaron con este material fueron pernos y bujes, que posteriormente fueron maquinados en el torno. En la figura 4.20 se muestra el proceso que se realizó.



Figura 4.20: Corte de barra redonda.

4.2.6. Corte de PTR

El corte de PTR se llevó a cabo con la lista de corte creada anteriormente, las piezas que se fabricaron con este material fue la estructura

del bastidor y paralelogramo. En la figura 4.21 se muestran el proceso que se realizó.



Figura 4.21: Corte de PTR.

4.2.7. Maquinado de piezas

Después del corte de material, con los planos de fabricación, se maquinaron las piezas como placas y pernos. El principio del maquinado es la remoción de material. Los pernos se maquinaron en el torno convencional como se muestra en la figura 4.22. Las placas se maquinaron en la fresadora para sus respectivos orificios como se muestra en la figura 4.23.



(a) Maquinado en torno.



(b) Maquinado completado.

Figura 4.22: Proceso de maquinado para pernos.



(a) Habilitado de placas.



(b) placas maquinadas.

Figura 4.23: Proceso de maquinado para placas.

4.2.8. Armado y soldado de subensambles

El armado de los bastidores delantero y trasero se realizó después del habilitado de todas las piezas. Cada subensamblé fue armado con sus respectivos componentes por personal del laboratorio de prototipo, respetando distancias, tolerancias, utilizando las herramientas necesarias así también como los planos de fabricación y proceso de soldadura MIG. En las figuras 4.24 y 4.25 se muestran algunas imágenes de este procedimiento. Es importante mencionar que la técnica que fue utilizada en el proceso de soldadura fue la de armar todos los subensambles, puntear y después resoldar como se muestra en la figura 4.26.



Figura 4.24: Armado y punteado de bastidor delantero.



Figura 4.25: Armado y punteado de bastidor trasero.



Figura 4.26: Punteado y resoldado con soldadura MIG.

Se siguió el mismo procedimiento para el armado del 3P, (armado, punteado y resoldado con soldadura MIG). En las figuras 4.27 y 4.28 se muestran unas imágenes del armado y posteriormente el resultado de este procedimiento.



Figura 4.27: Armado y puentado del 3P.



Figura 4.28: Resoldado de bastidor delantero y 3P terminado.

El procedimiento a continuación fue el del careado de cada subensam-
ble, en este se utilizó la herramienta de la pulidora, este procedimiento
es necesario para quitar todas las imperfecciones surgidas durante toda
la etapa de fabricación. En las figuras 4.29, 4.30 y 4.31 se muestran
algunas imágenes de este procedimiento.



Figura 4.29: Pulido de caja porta-brazo.



Figura 4.30: Pulido de bastidor.



Figura 4.31: Pulido de tercer punto.



Figura 4.32: Punto de enganche superior soldado.

En las figuras 4.32, 4.33 y 4.34 se muestran los diferentes subensambles del prototipo ya fabricados. Todos estos subensambles y otros componentes del proyecto fueron enviados a la universidad para el proceso de pintura.



Figura 4.33: Cajas porta-brazo terminados.

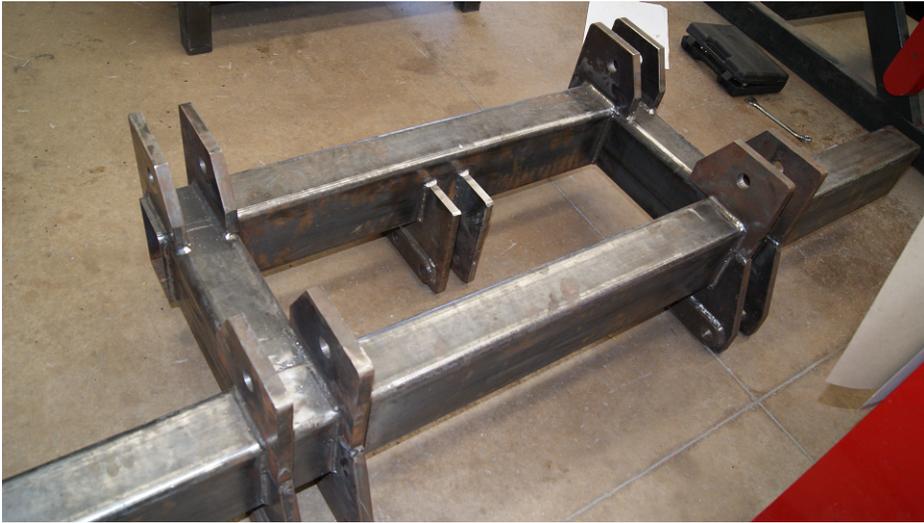


Figura 4.34: Bastidor delantero y enganche de 3P terminado.

4.3. Prototipo final

El nuevo prototipo cuenta con dos bastidores altamente reforzados (bastidor delantero y bastidor trasero) estos son las estructuras principales del prototipo, en el bastidor delantero se encuentra el sistema de enganche de tres puntos y también en ella se montan conjuntos de cajón-brazo para los diferentes arreglos. Estos van unidos entre ellos con un mecanismo de paralelogramo que permite la variación de profundidad para los brazos traseros, mientras que los brazos delanteros la variación de la profundidad se lleva a cabo desde el tercer punto del tractor agrícola.

El accionamiento de la profundidad de trabajo para los brazos traseros se efectúa con el mecanismo de paralelogramo y con dos cilindros hidráulicos, su accionamiento de estos es controlado mediante una válvula proporcional o una electroválvula de doble acción. En la figura 4.35 se muestra una imagen del prototipo de arado de cinceles articulado ya concluido.



Figura 4.35: Prototipo de arado de cinceles articulado.

Capítulo 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Se diseñó y fabricó un prototipo de arado de cinceles articulado para Agricultura de Precisión con las siguientes características:

- Sistema de enganche de tres puntos al tractor agrícola de categoría II.
- Bastidor delantero, que soporta hasta cuatro conjuntos de brazo-cinzel con diferentes espaciamiento entre ellos.
- Bastidor trasero, que soporta tres conjuntos de brazo-cinzel con diferentes espaciamiento entre ellos.
- Mecanismo de paralelogramo con dos cilindros hidráulicos que permite la articulación del bastidor trasero desplazando éste de arriba a abajo y viceversa, teniendo así una profundidad mínima y una máxima.
- El bastidor delantero cuenta con un ancho de trabajo que permite configurar cuatro conjuntos de brazo-cinzel con diferentes espaciamiento entre ellos.
- El bastidor trasero cuenta con un ancho de trabajo que permite configurar dos conjuntos de brazo-cinzel con diferentes espaciamiento entre ellos.

- Bastidores altamente reforzados para el trabajo en campo con una demanda de fuerza alta en cada brazo.
- Diseño factible para el enganche al tractor agrícola, para el ensamblado, así también como para las configuraciones rápidas en pruebas de campo.

Este prototipo tiene como objetivo aplicar en forma variable la labranza vertical profunda. Las características y parámetros de diseño hacen apto el funcionamiento del prototipo en pruebas de campo.

5.2. Recomendaciones

Para el diseño de nuevos proyectos en el futuro es necesario definir los parámetros de diseño, funciones a realizar, condiciones de prueba, materiales factibles para su diseño y fabricación. Es recomendable tener conocimientos básicos de diseños de herramientas de labranza, así como conocimientos de diseño mecánico, materiales, procesos de manufactura y mecánica de suelos.

Es de suma importancia conocer Software de diseño como Solidworks, ProEngginer, Inventor, Autocad, etc. Así como saber elaborar e interpretar planos de fabricación de piezas, ensambles y subensambles.

Este proyecto es un “prototipo” de arado de cinceles (primera máquina que se fabrica a partir de un diseño inicial), se puede desarrollar este proyecto en el futuro después de las pruebas en campo.

En este proyecto no fue necesario un análisis de elemento finito FEA, puesto que los materiales (aceros) que se utilizaron están referenciados por la empresa Tecnomec, dando esto una seguridad al diseño y fabricación del prototipo. Aunque en proyectos futuros o en la retroalimentación del prototipo se puede llevar a cabo este análisis.

Capítulo 6

BIBLIOGRAFIA

1. Agbede, T.M. 2006. Effect of tillage on soil properties and yam yield on an Alifisol in southwestern Nigeria. *Soil and Tillage Research* 86: 1-8.
2. Arvidsson, J., T. Keller, and K. Gustafsson. 2004. Specific draught for mouldboard plough, chisel plough and disc harrow at different water contents. *Soil and Tillage Research* 79: 221-231.
3. Ashrafizadeh, S.R and R.L, Kushwaha. 2003. Soil model in front of a tillage tool action -a review. CSAE/SCGR. Paper No. 03-210 Canadian Society of Agricultural Engineers, Meeting, 2003 Montreal, Quebec. Canada.
4. Cadena Zapata, M. W.B. Hoogmoed, U.D. Perdok. 2003. Field studies to assess the workable range of soils in the tropical zone of Veracruz, Mexico. *Soil and Tillage Research* 68: 83-92.
5. Cadena Zapata, M., T. Gaytán Muñoz y A. Zermeño González. 2004. Desempeño de implementos de labranza en términos de consumo de energía y calidad de trabajo. *Revista Agraria - Nueva Epoca*, 1(1): 58-65.
6. Camacho-Tamayo, J.H. y G.A. Rodríguez B. 2007. Evaluación de implementos de labranza a diferentes velocidades de operación y contenidos de agua en el suelo. *Agricultura Técnica* 67: 60-67.
7. Campos-Magaña Santos Gabriel, Martin Cadena Zapata, Sergio Jácome-Maldonado, Antonio Reynolds Chávez y Sergio Uribe Gómez 2004 Sistema integral de simulación de fuerza aplicado

- al desarrollo de herramientas de labranza de conservación. 2004. *terra* 22(2): 161-168. México.
8. Campos, M S.; Wills, B.; Cadena Z., M; 2002. Consideraciones para el diseño de transductores octagonales y su aplicación en la evaluación de implementos de labranza. Memorias del XI congreso nacional de ingeniería agrícola (AMIA). Irapuato, Gto., México
 9. Cavalaris, C.K. y T.A. Gemptos. 2002. Evaluation of four conservation tillage methods in the sugar beet crop. *The CIGR E-Journal of Scientific Research and Development*. Volume 4 Cornell University Library. ECommons@Cornell.
 10. Comforti, P. y M. Giampietro. 1997. Fossil energy use in agriculture: an international comparison. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 65(3): 231-234.
 11. Daberkow, S.; Fernandez-Cornejo, J. and M. Padgitt. 2002. Precision Agriculture Technology Diffusion: Current Status and Future Prospects. Presented at the 6th International Conference on Precision Agriculture, Minneapolis, MN, (USA) July 14-17, 2002. 15 pp.
 12. Derspch, R. 2007. The no tillage revolution in South America. *FarmTechProceedings* 54-68 Dexter, A.R., N.R.A. Bird. 2001. Methods for predicting the optimum and the range of water contents for tillage based on the water retention curve. *Soil and Tillage Research*. 57: 203-212
 13. Fielke, J.M. 1996. Interactions of the cutting edge of tillage implements with soil. *Journal of Agricultural Engineering Research* 63 (1): 61-71
 14. Godwin, R.J.; Reynolds, A. J.; O'Dogherty; Al-Ghazal, A. A. 1993. A triaxial dynamometer for force and moment measurements on tillage implements. *J. Agric. Engng. Res.* 55:189-205 Hai, Godwin, R.J. and M.J. O'Dogherty, 2007. Integrated soil tillage prediction models. *Journal of Terramechanics*. 44(1): 3-14

15. Hamza, M.A., G.P. Riethmuller and W.K. Anderson. 2006. A new generation ripper to reduce the cost of removing soil compaction. Proceedings of the 13th Agronomy Conference, 10-14 September 2006. Perth. Western Australia.
16. Hoogmoed W.B, and R. Derspch. 1985. Chisel Ploughing as an alternative tillage system in Paraná Barzil. Soil and TillageResearch 6: 53-67
17. Hoogmoed. W.B. 1999 Tillage for soil and water conservation in the semiarid tropic. WageningenAgriculturalUniversity. TheNetherlands.
18. Hoogmoed, W.B., M. Cadena Zapata, U.D. Perdok. 2003. Laboratory assessment of the workable range of soils in the tropical zone of Veracruz, Mexico. Soil and TillageResearch 74: 169-178.
19. Kasisira, L.L. and H.L.M. du Plessis.2006. Energy optimization for subsoilers in tandem in a sandy clay loam soil. Soil and TillageResearch, 86: 185-198.
20. Keller, T. J. Arvidsson, A.R. Dexter. 2007. Soil structure produced by tillage as affected by soil water content and the physical quality of soils. Soil and TillageResearch 92: 45-52.
21. Kichler, C.M J.P. Fulton, R.L. Raper, W.C. Zech, T.P. McDonald, C.J. Brodbeck2007. Spatially Monitoring Tractor Performance to Evaluate Energy Requirements of Variable Depth Tillage and Implement Selection ASABE annual meeting 2007 paper 071028.
22. Lowenberg-DeBoer, J. 1997. A bumpy road to the adoption of precision agriculture. PurdueAgriculturalEconomicsReport. Nov. 1997. <http://www.agecon.purdue.edu/extension/pubs/paer/pre98/paer1197.pdf>.
23. Manawa, S.I. 2009. Performance evaluation of tillage tines operating under different depths in a sandy clay loam soil. Soil and TillageResearch 103: 399-405.
24. Norton, G.W. and S.M. Swinton. 2001. Precision Agriculture: Global Prospects and Environmental Implications. Forthcoming

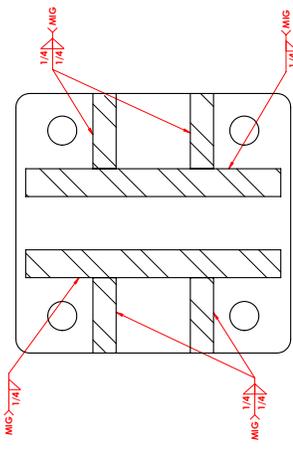
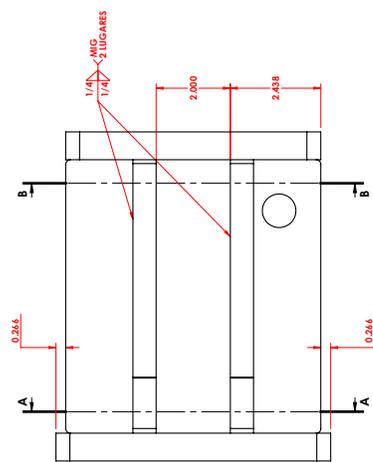
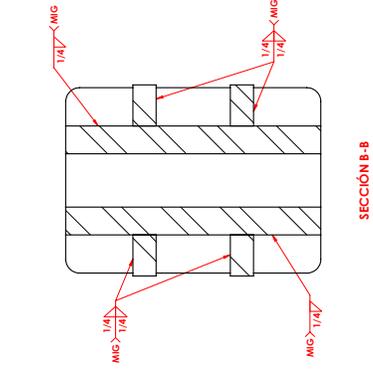
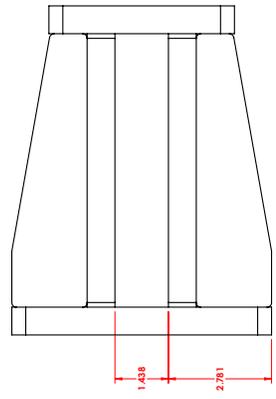
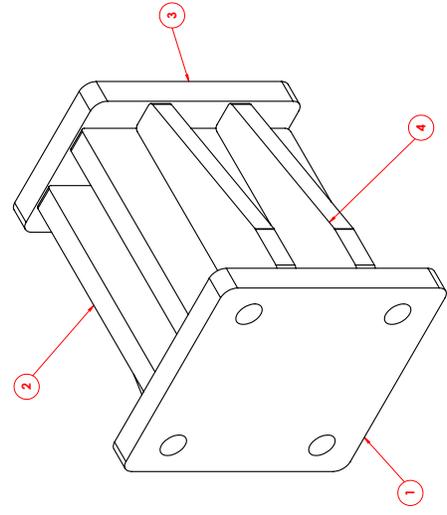
in G.H. Peters and P. Pingali, eds. *Tomorrow's Agriculture: Incentives, Institutions, Infrastructure and Innovations: Proceedings of the 24th International Conference of Agricultural Economists*, 2000. London: Ashgate.

25. Pimentel, D., S. Williamson, C.E. Alexander, O. Gonzalez-Pagan, C. Kontak, S.E. Mulkey. 2008. Reducing energy inputs in the US food system. *HumEcol* 36: 459-471
26. Serrano J.M., J.O. Peça, J. Marques da Silva, A. Pinheiro, M. Carvalho. 2007. Tractor energy requirements in disc harrowsystems. *BiosystemsEngineering*, 98(3): 286-296
27. Spoor, G. and R.J. Godwin 1990. Soil loosening requirements, implements and techniques. *HGCA ResearchReview*. No.19 London U.K.
28. Steiner, K.G. 1998 *Conserving Natural Resources and Enhancing food security by adopting no tillage*. TÖB Publication No. F-5/e GTZ. Echborn. Germany.
29. Szabo, B., F. Barnes, S. Sture, H.-Y. Ko. 1998. Effectiveness of Vibrating Bulldozer And Plow Blades On Draft Force Reduction. *Transactions of the ASAE* 41(2):283-290
30. Tabatabaeefar, A., H. Emamzadeh, M. GhasemiVarnamkhasti, R. Rahimizadeh and M. Karimi. 2009. Comparison of energy of tillage systems on wheat production. *Energy* 34 (1): 41-45
31. Tong, J and Z.M. Ballel 2006. Effect of the rake angle of chisel plough on soil cutting factors and power requirements: a computer simulation. *Soil and TillageResearch* 88: 55-64

Anexo

Planos de fabricación del prototipo de arado de cinceles articulado, lista de corte y lista general de componentes.

No. DE ELEMENTO	No. DE PIEZA	REV.	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	DIB/CANTIDAD
1	PRO-LI-001C	R00	CONTRA PLACA DE SUJESIÓN	ASTM A36 3/4	1
2	PRO-LI-302C	R00	PLACA PARA PORTA TIMÓN 01	ASTM A36 3/4	2
3	PRO-LI-303C	R00	PLACA PARA PORTA TIMÓN 02	ASTM A36 3/4	1
4	PRO-LI-304C	R00	CARTABON DE REFUERZO PARA PORTA TIMON	ASTM A36 5/8	4



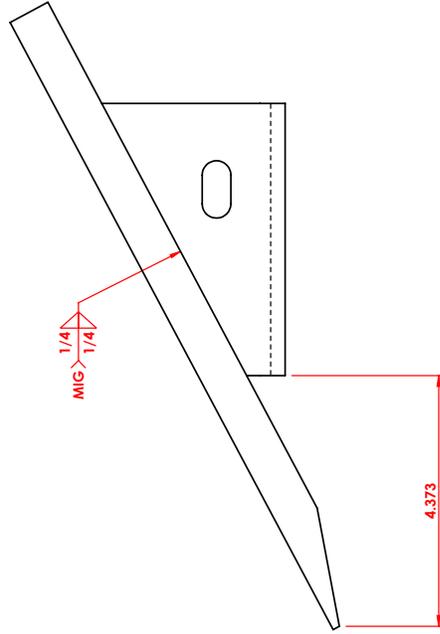
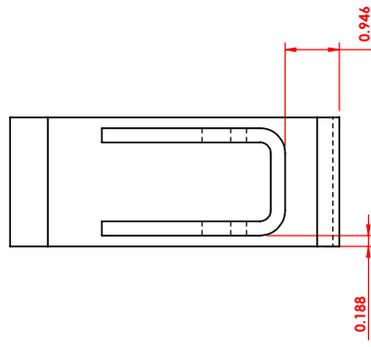
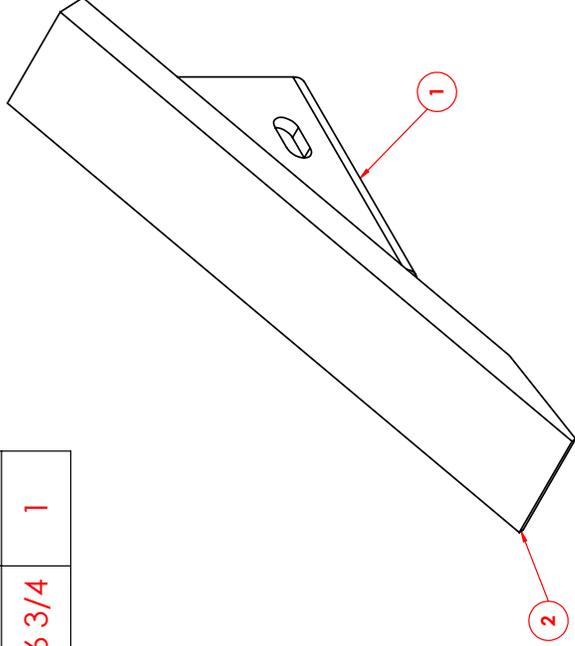
SECCIÓN B-B

SECCIÓN A-A

		UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO DIVISION DE INGENIERIA DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRICOLA	
TOLERANCIAS NO. DE FIGURAS NO. DE VISTAS NO. DE PROYECCIONES EN VISTA PROYECCIONES EN VISTA AUTOCALOR EN VISTA		21.93 0.47 m ² 21.93 kg 13 1 DE 1	
DESCRIPCIÓN N. PARTE		DESCRIPCIÓN N. PARTE	
J. GONZALEZ INGENIERO EN MAQUINARIA AGRICOLA		J. GONZALEZ INGENIERO EN MAQUINARIA AGRICOLA	
P. OLIVERA INGENIERO EN MAQUINARIA AGRICOLA		P. OLIVERA INGENIERO EN MAQUINARIA AGRICOLA	
PRO-LI-300A		PORTA TIMÓN	
B		R00	

LA INFORMACION CONTENIDA EN ESTE DIBUJO ES PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD AUTONOMA ANTONIO NARRO. SE PROHIBE LA REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL SIN EL PERMISO POR ESCRITO DE LA UNIVERSIDAD AUTONOMA ANTONIO NARRO.

No. DE ELEMENTO	No. DE PIEZA	REV.	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANT.
1	PRO-LI-601C	R00	ZAPATO PARA CINCEL	ASTM A36 1/4	1
2	PRO-LI-602C	R00	HERREMIENTA-CINCEL	ASTM A36 3/4	1



TOLERANCIAS NO ESPECIFICADAS (EN MILÍMETROS)		MAT./PROD.	DESCRIPCIÓN	
XX	±0.05	3.16	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO	
XXX	±0.003	PESO: 3.16 kg	DIVISION DE INGENIERIA	
ANGULOS	±1°	TRATAMIENTO: -	DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA	
		ACABADO: -	CONJUNTO ZAPATO-CINCEL	
		ESCALA: 1:3	N. PARTE	
		HOJA 1 DE 1	A	
		DISEÑADO POR: J. GONZÁLEZ	PRO-LI-600A	
R00	FECHA	CAMBIO	R00	
REV.	FECHA	CAMBIO	R00	
			PRIMEA EMISION	
			DESCRIPCION	
			SANTOS G. CAMPOS	
			HECHO POR	
			APROBADO POR	

LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DIBUJO ES PROPIEDAD EXCLUSIVA DE LA UAMAM CUALQUIER REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL SIN EL PERMISO POR ESCRITO DE LA UAMAM ESTÁ PROHIBIDA.

Lista de corte.

No. DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANT.	LONG. (in)
PRO-LI-004C	PERNO PARA PARALELOGRAMO SUP.	AISI 1045 Ø1 3/4	4	4.875
PRO-LI-005C	PERNO PARA PARALELOGRAMO INF.	AISI 1045 Ø1 3/4	4	5.375
PRO-LI-006C	PERNO INFERIOR PARA CILINDRO H.	AISI 1045 Ø1 1/2	2	5.375
PRO-LI-007C	PERNO SUPERIOR PARA CILINDRO H.	AISI 1045 Ø1 1/2	2	3.875
PRO-LI-008C	PERNO INFERIOR PARA TERCER PUNTO	AISI 1045 Ø1 5/8	2	6.375
PRO-LI-009C	PERNO SUPERIOR PARA TERCER PUNTO	AISI 1045 Ø1 1/2	1	5.938
PRO-LI-010C	PERNO DE SUJESIÓN DE BRAZO	AISI 1045 Ø1 1/4	7	5.625
PRO-LI-101C	PTR PARA BASTIDOR DELANTERO 01	PTR 1/4 X 4 X 6	1	86.625
PRO-LI-102C	PTR PARA BASTIDORES	PTR 1/4 X 4 X 6	4	12
PRO-LI-103C	PTR PARA BASTIDOR DELANTERO 02	PTR 1/4 X 4 X 6	1	41
PRO-LI-201C	PTR PARA BASTIDOR TRASERO 01	PTR 1/4 X 4 X 6	1	75
PRO-LI-202C	PTR PARA BASTIDOR TRASERO 02	PTR 1/4 X 4 X 6	1	65.45
PRO-LI-401C	PARALELOGRAMO INFERIOR - ESTRUCTURA	PTR 4 X 2 X 0.179 (CAL.7)	4	31.7

Lista general de componentes.

No. DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANT.
PRO-LI-001C	CONTRA PLACA DE SUJESIÓN	ASTM A36 3/4	14
PRO-LI-003C	BRAZO RECTO	ASTM A36 1 1/4	7
PRO-LI-004C	PERNO PARA PARALELOGRAMO SUP.	AISI 1045 Ø1 3/4	4
PRO-LI-005C	PERNO PARA PARALELOGRAMO INF.	AISI 1045 Ø1 3/4	4
PRO-LI-006C	PERNO INFERIOR PARA CILINDRO H.	AISI 1045 Ø1 1/2	2
PRO-LI-007C	PERNO SUPERIOR PARA CILINDRO H.	AISI 1045 Ø1 1/2	2
PRO-LI-008C	PERNO INFERIOR PARA TERCER PUNTO	AISI 1045 Ø1 5/8	2
PRO-LI-009C	PERNO SUPERIOR PARA TERCER PUNTO	AISI 1045 Ø1 1/2	1
PRO-LI-010C	PERNO DE SUJESIÓN DE BRAZO	AISI 1045 Ø1 1/4	7
PRO-LI-101C	PTR PARA BASTIDOR DELANTERO 01	PTR 1/4 X 4 X 6	1
PRO-LI-102C	PTR PARA BASTIDORES	PTR 1/4 X 4 X 6	4
PRO-LI-103C	PTR PARA BASTIDOR DELANTERO 02	PTR 1/4 X 4 X 6	1
PRO-LI-104C	PLACA PARA TERCER PUNTO 01	ASTM A36 3/4	4
PRO-LI-105C	PLACA PARA PARALELOGRAMO 01	ASTM A36 3/4	8
PRO-LI-106C	PLACA PARA TERCER PUNTO 02	ASTM A36 3/4	2
PRO-LI-108C	PLACA REFUERZO DE TERCER PUNTO 02	ASTM A36 1/2	2
PRO-LI-107C	PLACA REFUERZO DE TERCER PUNTO 01	ASTM A36 1/2	4
PRO-LI-109C	PLACA TAPA PARA PTR	ASTM A36 3/16	8
PRO-LI-201C	PTR PARA BASTIDOR TRASERO 01	PTR 1/4 X 4 X 6	1
PRO-LI-202C	PTR PARA BASTIDOR TRASERO 02	PTR 1/4 X 4 X 6	1
PRO-LI-203C	PLACA PARA PARALELOGRAMO 02	ASTM A36 3/4	4
PRO-LI-302C	PLACA PARA PORTA-BRAZO 01	ASTM A36 3/4	14
PRO-LI-303C	PLACA PARA PORTA-BRAZO 02	ASTM A36 3/4	7
PRO-LI-304C	CARTABÓN DE REFUERZO PARA PORTA-BRAZO	ASTM A36 5/8	28
TOR. HEX. 0.750-10 X 8.500	TORNILLO HEXAGONAL	ASTM A36	28
RONDANA DE PRESIÓN DE 0.750	RONDANA DE PRESIÓN	ASTM A36	28
TUERCA 0.750-10	TUERCA	ASTM A38	28
PRO-LI-501C	BARRA PARA PARALELOGRAMO SUPERIOR	ASTM A36 1 1/4	2
PRO-LI-502C	RONDANA DE REFUERZO	ASTM A36 3/8	8
PRO-LI-401C	PARALELOGRAMO INFERIOR - ESTRUCTURA	PTR 4 X 2 X 0.179 (CAL.7)	4
PRO-LI-402C	BUJE PARA PARALELOGRAMO INFERIOR	AISI 1018 Ø2	8
PRO-LI-403C	PLACA DE REFUERZO PARA PARALELOGRAMO INF.	ASTM A36 1/2	8
PRO-LI-451C	PLACA PARA CONJUNTO DE REFUERZO	ASTM A36 1/2	8
PRO-LI-452C	CARTABÓN PARA CONJUNTO DE REFUERZO	ASTM A36 1/2	8
PRO-LI-404C	TAPA DE PTR 02	ASTM A36 3/16	8
PRO-LI-601C	ZAPATO PARA CINCEL	ASTM A36	7
PRO-LI-602C	HERRAMIENTA-CINCEL	ASTM A36	7