

01173

13

**DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO
Facultad de Ingeniería**

***DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA
SEMBRADORA PORTÁTIL PARA MAÍZ***

Domingo Torres Cruz

TESIS

PRESENTADA A LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO DE LA

**FACULTAD DE INGENIERÍA
DE LA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

COMO UN REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE
**MAESTRO EN INGENIERÍA
(MECÁNICA)**

Director de tesis: **Dr. Luis Reyes Ávila**

Asesor: **Dr. Pastor Teodoro Matadamas Ortiz**

2000

Ciudad Universitaria, mayo del 2000.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AL TODOPODEROSO

Por regalarme la existencia y
guiarme hacia el camino...

A MIS PADRES

Que me han ayudado siempre y dado la
libertad de ser yo mismo a pesar de todo.

A DOÑA CARMEN BASTIANI Y SUS HIJOS TITO, MERCEDES Y PACO

Que son mi segunda familia y los tengo
presente, siempre, en mi corazón.

AL DR. LUIS REYES

Por su gran ayuda, consejo y comprensión.

Indice

	Página
Indice de figuras	iii
Indice de tablas	iv
Capítulo 1 Introducción	
1.1 Antecedentes.	1
1.2 Planteamiento del problema.	2
1.3 Definición de la tarea y objetivos.	4
Capítulo 2 Fundamentos agrotécnicos	
2.1 Introducción.	5
2.2 Sistema roza-tumba-quema.	5
2.3 Dispositivos para la siembra de maíz.	7
2.3.1 Contenedores de semilla.	8
2.3.2 Espeque tradicional.	8
2.3.3 Coa mecánica.	9
2.3.4 Sembradora tipo espeque para maíz.	10
2.4 Técnicas de siembra para el cultivo de maíz.	10
2.5 Propiedades físicas y mecánicas de los granos.	12
2.5.1 Tamaño.	12
2.5.2 Fricción.	13
2.6 Propiedades mecánicas del suelo.	14
2.6.1 Resistencia a la penetración.	14
2.8 Resumen.	15
Capítulo 3 Materiales y métodos	
3.1 Introducción.	16
3.2 Determinación de las fracciones y dimensiones de los granos de maíz.	16
3.2.1 Forma y tamaño de las semillas de maíz.	17
3.3 Determinación del Índice de cono.	18
3.4 Metodología de diseño.	20
Capítulo 4 Diseño conceptual del espeque	
4.1 Introducción.	21
4.2 Especificación de diseño.	21
4.3 Conceptualización del sistema .	22
4.3.1 Análisis y combinación de conceptos.	25

Capítulo 5 Diseño de la sembradora.	
5.1 Introducción.	32
5.2 Diseño del mango de sujeción.	32
5.3 Diseño de la cuchilla.	33
5.3.1 Modelación de la cuchilla.	34
5.3.2 Calculo de los pernos de la cuchilla.	37
5.3.3 Cálculo del resorte.	38
5.4 Diseño del rodillo dosificador.	42
5.4.1 Eje del dosificador.	43
5.4.2 Soporte-conductor.	44
5.4.3 Tolva.	45
Capítulo 6 Síntesis del mecanismo de dosificación y depositación.	
6.1 Introducción.	47
6.2 Generalidades de la síntesis cinemática.	48
6.3 Cuaterniones	50
6.3.1 Rotaciones con cuaterniones	52
6.3.2 Composición de rotaciones	54
6.4 Descripción del mecanismo.	56
6.5 Modelación del mecanismo.	58
6.5.1 Posiciones angulares de los eslabones	65
6.6 Simulación de la síntesis.	65
Capítulo 7 Construcción de la sembradora	
7.1 Introducción.	67
7.2 Construcción y montaje.	67
7.3 Pruebas de laboratorio y de campo.	68
7.4 Resultados.	69
Conclusiones y recomendaciones	71
Bibliografía	72
Anexos	
Anexo A Planos de la sembradora portátil.	

Indice de Figuras

	Página
Figura 2.1: Contenedor de semillas.	8
Figura 2.2: Espeque tradicional o bastón.	9
Figura 2.3: Coa mecánica.	9
Figura 2.4: Sembradora tipo espeque para maíz.	10
Figura 2.5: Métodos de siembra para maíz.	11
Figura 2.6: Formas de siembra según la forma del terreno, condiciones de humedad, temperatura y tipo de suelo.	12
Figura 3.1: Características geométricas de la semilla de maíz.	17
Figura 4.1: Cuchilla (1. Cuchilla superior; 2. Cuchilla inferior; 3. Perno o eje; 4. Resorte de torsión; 5. Tuerca).	25
Figura 4.2: Forma de apertura de las cuchillas (1. Mango; 2. Soporte).	26
Figura 4.3: Dosificador (1. Eje; 2. Rodillo; 3. Celda; 4. Placa deslizador; 5). Mariposa.	27
Figura 4.4: Caja del dosificador, vista superior (1. Caja; 2. Pared móvil; 3. Perno de sujeción).	28
Figura 4.5: Rasador de semillas (1. Caja del dosificador; 2. Placa de pared; 3. Soporte del rasador; 4. Rasador; 5. Rodillo).	29
Figura 4.6: Sistema de dosificación (1. Tolva; 2. Semillas; 3. Caja; 4. Rasador; 5. Semillas en la celda; 6. Soporte; 7. Semillas dosificadas).	29
Figura 4.7: Mecanismo de movimiento del dosificador (1. Soporte; 2. Mecanismo; 3. Dosificador).	30
Figura 4.8: Esquema de la sembradora portátil conceptualizada (1. Mango; 2. Tolva; 3. Soporte del sistema de dosificación; 4. Mecanismo; 5. Soporte de empuje; 6. Cuchilla).	31
Figura 5.1: Mango o chasis (acot: mm).	33
Figura 5.2: Cuchilla (acot: mm).	33
Figura 5.3: Fuerzas que actúan en la cuchilla.	35
Figura 5.4: Fuerza sobre el perno.	37
Figura 5.5: Resorte de torsión (1. Resorte; 2. Cuchilla superior; 3. Cuchilla inferior; 4. Perno).	39
Figura 5.6: Rodillo dosificador (acot: mm).	42
Figura 5.7: Eje del dosificador (acot: mm. 2:1).	43
Figura 5.8: Dimensiones del soporte- guía(acot: mm).	44
Figura 5.9: Tolva de alimentación de semillas (acot: mm).	45
Figura 6.1: Generación de función para síntesis.	49
Figura 6.2: Síntesis de generación de trayectoria.	49
Figura 6.3: Síntesis para conducción de cuerpo rígido.	49
Figura 6.4: Rotación de la base a_i .	54
Figura 6.5: Esquema del mecanismo.	57
Figura 6.6: Parámetros del mecanismo.	58
Figura 6.7: Bases locales en las juntas rotacionales.	60
Figura 6.8: Mecanismo sintetizado en las posiciones prescritas.	66

Indice de tablas

	Página
Tabla 2.1: Fracciones de las semillas de maíz.	13
Tabla 2.2: Características agrotécnicas de las semillas de maíz y frijol.	13
Tabla 2.3: Angulos de fricción de las semillas de maíz y frijol.	14
Tabla 3.1: Fracciones y dimensiones de la semilla de maíz.	18
Tabla 3.2: Índice de cono del suelo.	19
Tabla 4.1: Desarrollo de conceptos para las subfunciones.	24
Tabla 5.1: Masa de los elementos a soportar.	44
Tabla 6.1: Topología del mecanismo.	56
Tabla 6.2: Posiciones e incógnitas.	62
Tabla 6.3: Definición de la síntesis.	65
Tabla 6.4: Resultados de síntesis del mecanismo.	66
Tabla 7.1: Costos de los materiales y mano de obra de la sembradora.	68
Tabla 7.2: Contenido de humedad del suelo de las parcelas de prueba.	69

Capítulo 1

Introducción

1.1 Antecedentes

La mecanización motorizada de las labores agrícolas en los sistemas de producción de cultivos básicos bajo condiciones de temporal está restringida. Esto se debe principalmente a factores tales como condiciones físicas inapropiadas (p. ej.: altas pendientes, elevada pedregosidad), reducida extensión de las parcelas agrícolas (atomización de la tierra), baja rentabilidad de los cultivos, productores con baja capacidad para la adquisición de maquinaria agrícola de alto costo, así como escasa infraestructura y logística en este tipo de agricultura[1]. Bajo estas condiciones de producción, el diseño de implementos sencillos y de bajo costo para tracción animal y operación manual adquiere gran relevancia.

El diseño de esos implementos debe considerar la conservación del medio ambiente, principalmente la reducción de la erosión del suelo, el uso eficiente de la humedad del mismo y un consumo mínimo de energía. Así, los sistemas tradicionales de labranza resultan altamente costosos, agresivos a la ecología y consumen excesiva energía, en comparación con los modernos sistemas de labranza como labranza mínima y cero labranza. Estos últimos consisten básicamente en controlar la maleza y sembrar preparando mínimamente la zona de siembra. Consecuentemente es requerido el diseño de sembradoras capaces de penetrar la capa de vegetación superficial y/o capas relativamente duras de suelo o herramientas que permitan sembrar sin remover el mismo.

Mundialmente se utilizan en zonas agrícolas temporales diversos implementos de tracción animal y herramientas manuales, tales como: arados jalados por yuntas, coas, espeques, azadones, etc. La siembra de maíz en zonas de temporal y en condiciones de pendientes prolongadas en México se realiza generalmente con espeque, la cual es

una actividad muy agotadora y requiere mucho tiempo. Por ejemplo: la siembra de una hectárea de frijol o maíz se necesita 9 jornadas laborales de 8 horas cada una. La rentabilidad de la producción agrícola en estas zonas es muy baja y se considera como agricultura de autoconsumo.

1.2 Planteamiento del problema

En las áreas de temporal, el uso de la maquinaria agrícola para las labores de cultivo está muy limitado debido a la compleja orografía de nuestro país, aspectos socioeconómicos, tipo de fuerza de trabajo utilizada, entre otros. Un componente de los aspectos orográficos que limita la mecanización agrícola es la pendiente. El 49.5% de la superficie nacional se encuentra con pendientes excesivas[2]; esto indica que la mitad del territorio nacional queda imposibilitado para la utilización de maquinaria agrícola y, hasta en ocasiones, la tracción animal se ve impedida de utilizarse. Por otra parte, el 36% de la superficie nacional tiene pendientes hasta del 10% y una cantidad similar para valores que van del 10 al 25%; es en esta parte en donde se ubica la agricultura de montaña, requiriendo de manera importante instrumentos agrícolas (machete, coa, sembradora, arados).

Referente al aspecto económico de las unidades de producción agrícola en México, se reporta que el 58% de ellas explotan superficies hasta de 4 hectáreas[3, 4], de la cual se generan ingresos insuficientes para el mantenimiento de una yunta durante una temporada de trabajo, los que a su vez no permiten la compra y/o mantenimiento de un tractor. El 38.5% de las unidades de producción poseen superficies de 20 ha y menores, superficie que continúa siendo insuficiente para mantener ocupado un tractor, además se debe considerar la imposibilidad económica para que estas unidades de producción pudieran adquirirlo. Bajo estas condiciones resulta de gran importancia la utilización de los instrumentos manuales para las labores agrícolas.

Considerando el tipo de fuerza de trabajo utilizado para el accionamiento de los instrumentos agrícolas, para el año 1991, en el 73.8 % del total (23 138 405 Ha) se presentó tracción animal y mecánica. De estos datos se asume que en el restante 16.2 % (3,748,985 Ha) se utilizaron instrumentos manuales.

De un total de 29 158 ejidos existentes en México el 29.2 % (8509 ejidos) destinan su producción agrícola para autoconsumo[1], por que no producen lo suficiente para la venta. En la mayoría de ellos se realiza el manejo de la producción con diferentes tipos de instrumentos agrícolas, en donde la coa juega un papel importante para la siembra.

En resumen, la mayor parte de la superficie agrícola (81.9 % del total) es de temporal, y de ésta una parte considerable son terrenos con excesiva pendiente. En estos terrenos los campesinos practican una agricultura de subsistencia donde los cultivos principales son el maíz y el frijol.

La producción de maíz, bajo las situaciones descritas, ha conducido a la realización de un gran número de actividades agrícolas en forma manual y al desarrollo de ciertos implementos tanto de tracción animal como acción manual. Para las labores de cultivo se utilizan arados de vertedera jalados por yuntas en terrenos con poca pendiente y herramientas manuales, espeques, ganchos, machetes y azadones, entre otros, para los terrenos más inclinados.

Para el caso específico de la siembra, en el sistema Roza-tumba-quema, la remoción del suelo se concreta a un hoyo para depositar la semilla, se adapta a condiciones de pendientes muy pronunciadas, pedregosos, con raíces y troncos, y poca inversión. Para realizar esta actividad se utiliza el espeque.

Al momento de la siembra se requiere llevar la semilla que se va depositando por todo el terreno. Se necesita de un recipiente que la contenga, a los que se le llama contenedores, y consisten en recipientes de poca capacidad (de 2 a 3 kilogramos); los materiales son diversos y van desde palma hasta plástico.

La actividad de siembra con estos instrumentos manuales presenta varias desventajas. Una vez que el sembrador ha abierto el hoyo con el espeque, tiene que seleccionar o dosificar las semillas con la mano para depositarlas en el hoyo. Por otro lado, al depositar las semillas, se debe inclinar hacia el hoyo a fin de evitar colocarlas afuera del mismo. Lo anterior indica que, si la densidad de siembra de un determinado cultivo es de 60, 000 plantas por hectárea, el sembrador tiene abrir hoyo, dosificar semillas e inclinarse la misma cantidad de veces. Además de traer la semilla cargando todo el tiempo en un recipiente. Todo esto ocasiona cansancio físico y agotamiento en el sembrador con el paso de las horas de trabajo, traduciéndose en jornadas largas para áreas pequeñas.

Las razones anteriormente expuestas justifican el diseño y construcción de una sembradora portátil de bajo costo, que pueda ser fabricada en un taller pequeño o que el mismo productor la fabrique, con materiales y tecnología nacional y que reduzca el tiempo y esfuerzos para la siembra de granos de maíz, conservando una buena calidad de la misma (uniformidad, dosificación, etc.).

1.3 Definición de la tarea y objetivos

Cualquiera que sea el tipo de sistema de labranza, el establecimiento adecuado de un cultivo y el control de malezas son de gran importancia. En zonas temporaleras, sobre todo aquellas con alta inclinación y pedregosidad, se utiliza el espeque o bastón plantador para la siembra. Con este apero manual la actividad resulta muy fatigante, se tiene poco control en la profundidad de siembra y se obtienen altas poblaciones de siembra.

En congruencia con estos problemas y con el estado técnico actual de la siembra con espeque, se plantean los siguientes objetivos:

Objetivo general:

Diseñar y construir una sembradora portátil que reduzca la fatiga y aumente la productividad del operario.

Objetivos particulares:

- Describir el estado del arte de los espeques utilizados para la siembra del cultivo de maíz.
- Diseñar la sembradora portátil en función de los requerimientos agrotécnicos de la siembra de maíz.
- Construir la sembradora diseñada.
- Evaluar en laboratorio el espeque mecánico.
- Hacer las modificaciones necesarias para mejorar su funcionamiento.

Capítulo 2

Fundamentos agrotécnicos

2.1 Introducción

Antes de abordar el problema de diseñar una máquina agrícola o cualquier otro dispositivo es necesario conocer el estado técnico actual en el cual se encuentra. Esto se hace con el fin de comprender de manera detallada el entorno de la problemática y así, poder proponer soluciones viables. Por ello, es que en éste capítulo se hace una breve revisión del proceso de producción del cultivo de maíz que se lleva a cabo en las zonas de temporal. Se describen los instrumentos de siembra y algunas características físicas y mecánicas de los granos de maíz importantes para el diseño.

2.2 Sistema roza-tumba-quema

En México los métodos de cultivo son muy variados. Si se agrupan atendiendo a la manipulación mecánica del suelo se pueden distinguir distintos sistemas de labranza; entre los principales están: Labranza tradicional, labranza de conservación con sus diferentes modalidades y roza-tumba-quema. De acuerdo con la definición del problema y los objetivos planteados anteriormente en este trabajo se considera el último.

El sistema roza-tumba-quema se practica en zonas de alta inclinación y en donde los productores cuentan con escasos recursos económicos, se basa en el conocimiento empírico acumulado durante varias generaciones de los agricultores y responden a un conocimiento profundo de las características ambientales de la región en que se practica. Las labores culturales que se realizan en este sistema de producción para el cultivo del maíz son: 1. Preparación del terreno; 2. Selección de semillas; 3. Siembra; 4. Control de malezas; 5. Control de plagas y enfermedades; 6. Cosecha; 7. Labores de postcosecha; 8. Comercialización.

Las labores de cultivo anteriores se encuentran ampliamente descritas en diversos tratados de cultivos básicos[5, 6]. Por lo tanto, en el presente escrito solamente se hace una breve descripción de las que tienen una gran influencia para la mecanización de la labor de siembra, a saber: preparación del suelo, la selección de la semilla y la siembra misma.

Selección del terreno. Consiste en la elección del terreno que se va a rozar, ya que sus características respecto a la edad de la vegetación, fertilidad del suelo, etc., dependerá la producción que se obtenga en la cosecha. De esta manera los productores prefieren los terrenos que tengan montes altos o en su defecto tornamiles con mayor periodo de descanso, los agricultores consideran que tienen suelos más fértiles y garantizan mayores cosechas.

Preparación del terreno. Esta actividad comprende la roza, tumba y quema de las plantas herbáceas y árboles. Consiste en la eliminación de la cubierta vegetal utilizando instrumentos de trabajo de uso manual como el machete y el hacha, así como el fuego para quemar la vegetación derivada, sin necesidad de roturar el suelo. Cada región o lugar donde se realiza esta práctica agrícola posee características particulares según las condiciones ambientales.

Roza. Consiste en la eliminación de especies herbáceas y de otras plantas pequeñas que se pueden cortar con el machete y con la ayuda de un gancho.

Tumba. Consiste en la eliminación de árboles, se realiza con el hacha. Los árboles derribados se desraman con machete y con el auxilio de una horqueta con el fin de facilitar su secado y quema posterior. La vegetación desmontada permanece en el terreno hasta secarse completamente para estar en condiciones de ser quemada.

Quema. Antes de realizar esta actividad, el productor hace una brecha o guardarraya alrededor de la roza (terreno) de 1 a 1.5 m de ancho para evitar que el fuego se propague a otros predios. Los productores la realizan durante los meses más calientes del año (abril) antes de que inicien las lluvias para garantizar una quema completa de la vegetación. Se hace después del medio día, aunque algunos productores acostumbran quemar iniciando la noche. Bajo estas condiciones se lleva a cabo la siembra de los cultivos.

Siembra. La siembra está restringida por las condiciones climáticas, de tal manera que al iniciarse la temporada de lluvias también se inicia el ciclo agrícola. Por ejemplo, para la región de la Costa de Oaxaca, las siembras de maíz se inician a mediados del mes de mayo o en la primera semana de junio, periodo en el que caen las primeras lluvias del temporal.

Para la siembra se utiliza una estaca, enduyo o espeque, nombres regionales que se dan a un palo puntiagudo en un extremo y de 1.5 m de longitud, para hacer los hoyos en que se depositan las semillas de maíz. Cuando la siembra se realiza en terrenos muy pedregosos, al espeque se le coloca en la punta un fierro llamado barretín para facilitar la perforación del suelo.

Para maíz, la separación entre hileras y entre plantas varía de 1 m hasta 1.20 ó 1.30 m, éste distanciamiento se explica porque entre las hileras de maíz siembran cultivos asociados y ello contribuye a reducir el fenómeno de competencia de las plantas cultivadas.

Por las características de relieve, el maíz se siembra a una profundidad que varía de 5 a 10 cm, con la finalidad de buscar una mayor humedad disponible para la germinación del grano, el cual empieza a germinar a los 3 ó 4 días después de la siembra.

Por lo general, en la siembra el productor deposita de 4 a 6 semillas por golpe, esto depende del tamaño del grano y de las condiciones de sanidad de éstos, si los granos son pequeños y están picados, se siembran un mayor número de semillas para garantizar la nacecencia de un mayor porcentaje de ellos y evitar así la resiembra. En promedio se utilizan 16 kg. de semillas de maíz por hectárea.

2.3 Herramientas para la siembra de maíz

En la república mexicana en donde no se cuenta con maquinaria motorizada, la siembra de maíz se realiza manualmente con la ayuda de un elemento abridor de surco que puede ser un arado de fierro, o bien, con un azadón en los lugares en donde no se cuenta con animales de tiro y, en otros lugares, con un espeque.

En esta sección se hace la descripción y análisis del funcionamiento de algunas herramientas existentes en la actualidad para la siembra de maíz.

2.3.1 Contenedores de semilla

Son utensilios específicos para siembra destinados a contener la semilla a depositar en el suelo. Consisten en recipientes pequeños con capacidad de 2 ó 3 kg. de semilla, de forma y material variable; dentro de los más comunes se tienen: tenates, recipientes de palma, los cuales se le coloca un lazo para amarrarlo a la cintura de una persona[7]. Se fijan en la cintura cuando se siembran dos especies asociados o bien cuando el producto maneja algún instrumento(coa, pala, machete). Cuando solo se trata de depositar la semilla, el sembrador puede llevarse en una mano y con la otra realizar dicho trabajo.

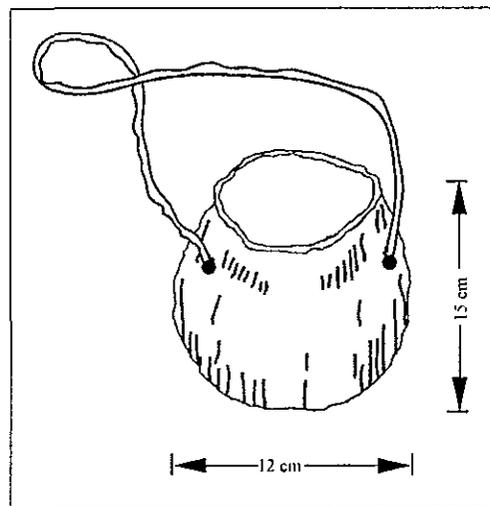


Figura 2.1: Contenedor de semillas.

2.3.2 Espeque tradicional

Llamado también palo plantador, macana o luizote. Simplemente es un bastón de madera resistente con punta, mide aproximadamente entre 1.5-1.8 m, y tiene un peso suficiente para poder introducirse en el suelo con poca fuerza. Este implemento se maneja con una o ambas manos; levantándolo e impulsándolo contra el suelo hacia la zona de siembra. Posteriormente se hacen movimientos de palanca para agrandar el hoyo donde se depositan las semillas. Enseguida, el sembrador se inclina y deposita en el hoyo de 3 a 4 semillas. Finalmente realiza el tapado de la semilla con el pie al dar un paso para el siguiente sitio de siembra. En general, los hoyos se realizan a cada paso del productor, de 50 a 60 cm, con una separación entre surcos de aproximadamente 80 cm.

Se utiliza principalmente en la siembra de maíz y frijol, bajo el sistema roza-tumba-quema, y aún en el sistema de aradura, en lugares como sierra y lomerío; escasamente en planicies[7, 8].

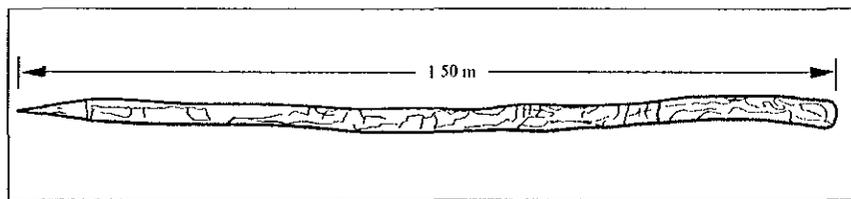


Figura 2.2: Espeque tradicional o bastón plantador.

2.3.3 Coa mecánica

La coa mecánica se usa comúnmente en países como Venezuela, Colombia Bolivia, entre otros. Mide cerca de 85 cm de longitud y cuando está llena la tolva con un kg. de semilla de maíz pesa 3.2 kg. Tiene una tolva rectangular y en el fondo de ésta se encuentra el plato semillero, el cual se puede ajustar para el tamaño y el número de semillas necesarias. Al sembrar, forma un hoyo rectangular en el suelo de 2x7 cm en sección transversal y 5 cm de profundidad.

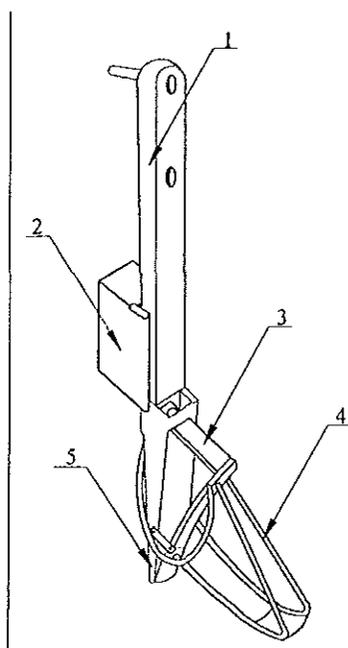


Figura 2.3: Coa mecánica: 1. Mango; 2. Tolva; 3. Dosificador; 4. Soporte y 5. Cuchillas.

El agricultor lleva la coa como si fuese un bastón. Una vez que se ha seleccionado el lugar de siembra se impulsa contra éste enterrando la punta (cuchillas) en el suelo y usando el hoyo como punto de pivote, el sembrador pivotea la sembradora hacia delante alrededor de 30°. Un resorte en pretensión conectado al pie a un lado del punto de apoyo proporciona el movimiento relativo para abrir las cuchillas aproximadamente 2 cm.

Las semillas viajan a través del plato semillero antes de que la semilla caiga en el hoyo. Como el agricultor pivotea la sembradora en la posición vertical, una barra conectada al pie hace girar al plato semillero[8, 9]. Las semillas caen de las celdas del plato semillero y son retenidas por las cuchillas cerradas. Los granos caen en el espacio formado por las cuchillas al abrirse y se repite el proceso.

2.3.4 Sembradora tipo espeque para maíz

Es una sembradora manual con una tolva fija en el soporte principal. La siembra se realiza tomándola del maneral y se impulsa contra el suelo hacia la zona de siembra. Una vez introducida la punta al suelo se hace palancas hacia un lado, entonces, una placa deslizante con un hoyo de tamaño apropiado extrae una semilla del fondo de la tolva. La semilla es colocada en el hoyo cuando la sembradora retorna a la posición vertical. La profundidad de siembra se controla mediante una guía ajustable. Tiene un peso de 4 kg. con semillas[9].

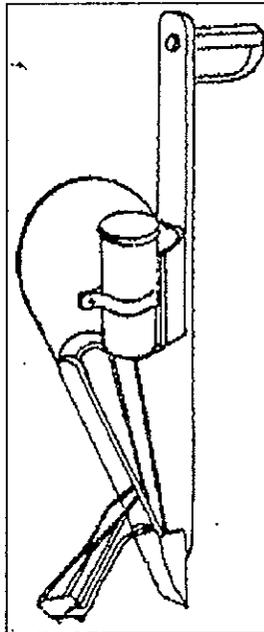


Figura 2.4: Sembradora tipo espeque para maíz.

2.4 Técnicas de siembra para el cultivo de maíz

La siembra consiste en la colocación de las semillas en el terreno de cultivo, en las condiciones requeridas para su desarrollo. El objetivo es establecer una densidad de plantas óptima con el espaciamiento adecuado, de acuerdo a las exigencias agronómicas tomando en cuenta el aspecto económico.

Para el cultivo de maíz, el método de siembra más utilizado es el mateado con sus diferentes modalidades. Entre los principales están *siembra en líneas*, *siembra a golpes* y *siembra monograno*[5, 10, 11]. En cada uno de ellos se utilizan instrumentos manuales o de accionamiento mecánico, que pueden ser propios para estas prácticas o de uso generalizado en otras labores agrícolas. La *siembra en líneas* es la más generalizada para el cultivo del maíz. Las semillas se colocan en hileras a distancias definidas previamente, con el fin de dejar zonas libres para el manejo posterior del cultivo. Esta ofrece numerosas ventajas en cuanto a regularidad y eficiencia de distribución, control de profundidad de siembra y menor cantidad de semillas.

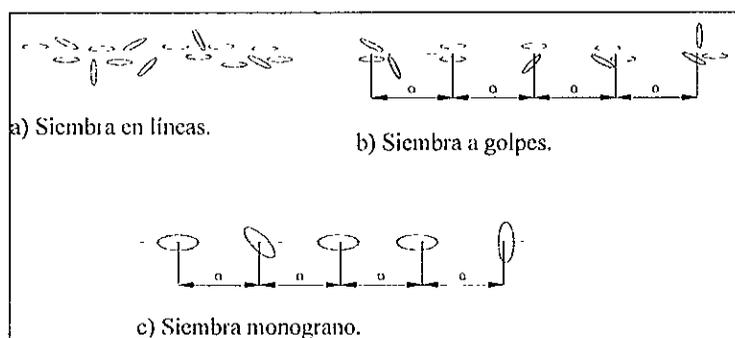


Figura 2.5: Métodos de siembra para maíz.

Una modalidad de este tipo de siembra es la conocida como *siembra a golpes*, que consiste en enterrar en el suelo de dos a tres semillas. Las semillas que se utilizan son del tipo grueso como maíz y frijol. Su objetivo es asegurar la nascencia de al menos una de las semillas, en caso de que nazcan todas se realiza un aclareo.

Otra modalidad es la *siembra monograno*, consiste en colocar en el suelo a una distancia precisa (constante) una sola semilla. Su finalidad es reducir al mínimo posteriores operaciones y reducir la cantidad de semilla utilizada.

Según la forma del terreno, a la cantidad de lluvia, a la temperatura y al tipo de suelo, existen tres métodos de siembra para obtener una condición de humedad adecuada y un buen ambiente de sementera para la semilla recién sembrada. Estos métodos son:

Surcos. Adecuado para regiones semiáridas, ya que aprovecha mejor la humedad de la capa inferior del terreno.

Llano. Esta forma de siembra se utiliza generalmente cuando en el terreno existe humedad adecuada.

Cerro (caballones). Este método de siembra se utiliza en zonas húmedas o en riego. Se deja libre la zona profunda para que el agua corra libremente.

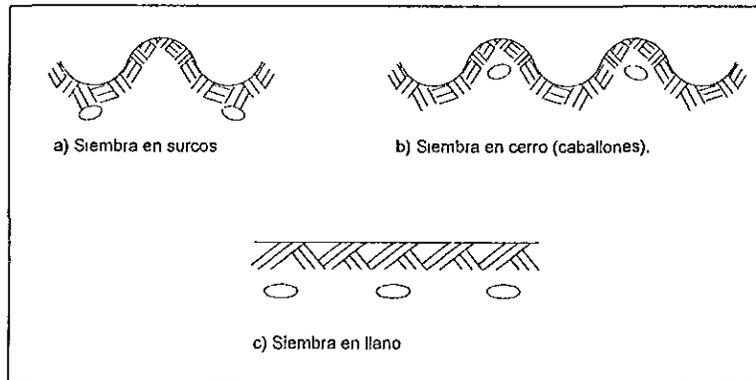


Figura 2.6: Formas de siembra según la forma del terreno, condiciones de humedad, temperatura y tipo de suelo.

2.5 Propiedades físicas y mecánicas de los granos

La disminución de las pérdidas debido a daños durante el manejo y la conservación de la calidad de los productos es posible si se consideran las propiedades de los mismos al proyectar los dispositivos o máquinas de manejo. Por eso, el conocimiento de las propiedades físicas y mecánicas de los productos agrícolas permite el diseño y simulación de máquinas y procesos tecnológicos con mejores características de calidad de trabajo, que incluyen la disminución de pérdidas y una operación más eficiente[12].

Dentro de las propiedades físicas y mecánicas más importantes de los productos agrícolas se encuentra el tamaño, la forma, la densidad, el coeficiente de fricción, la resistencia al impacto, el ángulo de reposo, los coeficientes aerodinámicos, los coeficientes de rodamiento, entre, otros. Para el presente trabajo es de importancia lo referente a las características dimensionales, forma y coeficientes de fricción de las semillas de maíz como parámetros para el desarrollo de los componentes de la sembradora.

2.5.1 Tamaño

El funcionamiento de muchos tipos de máquinas agrícolas, de manera particular las sembradoras, está influenciado por las características físicas y mecánicas de las semillas. Así, para el diseño del sistema de dosificación (tolva, platos o cilindros dosificadores) se considera el tamaño, la forma, así como la orientación que pueda tomar la semilla durante la selección, la fricción entre grano/metal y la fricción entre grano/grano.

Para que las máquinas sembradoras trabajen (dosifiquen) adecuadamente es necesario que las semillas presenten uniformidad en forma y tamaño. Lo anterior se logra mediante el cribado de la semilla (maíz) con lo que se obtienen fracciones de tamaños definidos (Tabla 2.1)[13].

Tabla 2.1: Fracción de las semillas de maíz.

No.	Fracción	Dimensiones (mm)	
		Ancho	Espesor
1	Planas grandes	9.00-10.5	3.75-5.50
2	Planas medias	8.00-9.00	3.75-5.25
3	Planas delgadas	7.00-8.00	3.75-5.00
4	Planas finas	6.00-5.70	3.75-4.75
5	Redondas grandes	8.00-10.50	3.75-7.00
6	Redondas medias	6.50-8.00	4.75-7.00

La forma de las semillas es normalmente irregular y se necesita gran cantidad de datos para poder caracterizarlas adecuadamente. Una forma rápida consiste en caracterizarlas por su longitud, ancho y grosor. En la Tabla 2.2 se presentan algunas características agrotécnicas de las semillas de maíz y frijol[14].

Tabla 2.2: Características agrotécnicas de las semillas de maíz y frijol.

Semilla	Longitud (mm)	Anchura (mm)	Espesor (mm)	Densidad (kg.dm ³)	Ang. de fricción (c°)	Dist. de siembra (cm)
Maíz	10-20	5-12	2-5	0.65-0.75	31	60-70
Frijol	10-18	8-12	5-12	0.75-0.84	32	—

2.5.2 Fricción

La fricción se presenta, de alguna forma, durante la manipulación de los granos y afecta la fuerza que se requiere para el movimiento de un elemento de un sistema determinado y la potencia de éste; también influye en el movimiento y flujo del material hacia determinadas partes del sistema.

Para el caso particular de los granos o semillas, se distinguen dos tipos de fricción principalmente: fricción externa y fricción interna. La fricción externa es la fricción de los granos contra algún tipo de material o pared en especial. Los ángulos de fricción de semillas de maíz y frijol se muestran en las Tablas 2.2 y 2.3[14, 15].

Tabla 2.3: *Angulos de fricción de las semillas de maíz y frijol.*

Tipo de semilla	Angulo de reposo(°C)	Fricción			
		Angulo de fricción interno (°C)		Angulo de fricción de pared (°C)	
		Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Maíz	27	17	22.5	26	29
Frijol	25	20	25	24	26

Estos datos serán útiles para seleccionar el tipo de material y determinar el ángulo de inclinación de las paredes de la tolva de la sembradora a diseñar para asegurar un flujo adecuado de las semillas hacia el dosificador. La fricción interna (semilla/semilla), es el ángulo de fricción que existe entre los granos individuales.

2.6 Propiedades mecánicas del suelo

Para el diseño de nuevos implementos agrícolas se requiere el conocimiento y el cálculo de las fuerzas a que está sometido el implemento o el sistema. Para ello es necesario conocer las propiedades físicas y mecánicas de los suelos, ya que las fuerzas están ligadas a las condiciones que prevalecen en el suelo.

Las propiedades mecánicas del suelo de mayor interés para el diseño de implementos agrícolas son los parámetros suelo/suelo, suelo/metal, cohesión, adhesión, fricción y resistencia a la penetración. Estas propiedades constituyen la base para establecer ecuaciones de predicción de las fuerzas sobre las herramientas. Para nuestro caso, el más importante es la resistencia a la penetración ya que con este parámetro se diseñan los elementos de máquina cortantes.

2.6.1 Resistencia a la penetración

La resistencia a la penetración es un parámetro que depende de las características mecánicas del suelo. En ingeniería agrícola, se le denomina Índice de Cono. Se utiliza en ciertos modelos empíricos para determinar el tiro requerido por los implementos agrícolas. Se define como la fuerza máxima registrada durante la penetración, dividida por la superficie de la base del cono[16, 17].

Este parámetro permite conocer la dureza del suelo para las condiciones específicas que se encuentran en un momento determinado, por lo que no es posible generalizarlo para cualquier tipo de suelo.

Para la determinación del Índice de cono se utilizan penetrómetros. Existe una gran variedad de tipos, formas y tamaños. Los dos principales son el de impacto y el estático. El penetrómetro de impacto mide el número de caídas de un martillo de cierto peso a cierta distancia para introducir un pistón hasta determinada profundidad en el suelo, con lo que se puede calcular la energía gastada en esta operación. El penetrómetro estático mide la fuerza por unidad de área seccional (esfuerzo) necesaria para introducir un pistón a una velocidad de 200 mm/s hasta cierta profundidad en el suelo.

2.7 Resumen

En las zonas de temporal con pendientes de los terrenos pronunciados y productores de bajos recursos, la siembra del cultivo de maíz se lleva cabo con espeque o bastón plantador. Existen en otros países como Bolivia, Colombia, Venezuela, entre otros, sembradoras portátiles o espeques. Ninguna de las descritas se fabrican y emplean en el país. De aquí se deduce la importancia del presente trabajo de generar tecnología propia para el campo mexicano.

Para iniciar el diseño del espeque es necesario entender la relación semilla-máquina suelo. De la revisión se tienen las características dimensionales generales y mecánicas de las semillas de maíz. Las dimensiones son muy variables debido a la gran variedad de maíz existentes en el país. Por ello, se hace necesario su determinación considerando alguna variedad en particular con el fin de utilizar en el diseño.

En lo referente a las características mecánicas de la semilla, especialmente la fricción, ésta varía de acuerdo a la superficie del material que se utiliza para el manejo. En este trabajo se utilizarán los valores numéricos mostrados en las tablas 2.2 y 2.3, respectivamente. En cuanto a las características mecánicas del suelo también son muy variables dependiendo del contenido de humedad. Para el diseño del espeque se requiere conocer principalmente la resistencia a la penetración del suelo para poder dimensionar el órgano de trabajo que vaya a estar en contacto con el suelo. En el coeficiente de fricción suelo /metal se utilizarán algunos de los mostrados en la literatura.

Capítulo 3

Materiales y métodos

3.1 Introducción

En esta parte se presentan la metodología y los resultados de los experimentos llevados a cabo para obtener algunos de los datos necesarios para el diseño del espeque. En este caso se requieren las características dimensionales de los granos de maíz y la resistencia a la penetración del suelo o Índice del cono. Estos datos son importantes para el diseño del sistema de dosificación y de las cuchillas. Los experimentos se realizaron de acuerdo a las necesidades de requerimientos de datos para el diseño del mismo. También se describe la metodología general de diseño utilizado.

3.2 Determinación de las fracciones y dimensiones de las semillas de maíz.

Las propiedades físicas y mecánicas de las semillas de maíz son de suma importancia considerar en el diseño de las máquinas agrícolas, especialmente en el diseño de las sembradoras dado que de éstos dependerá relacionarlas adecuadamente con los sistemas seleccionados, y de esta manera obtener un perfecto funcionamiento del equipo.

En este caso, para el diseño del sistema de dosificación, es necesario determinar las siguientes variables para las semillas de maíz.

- Forma.
- Tamaño (largo, ancho y grosor)

3.2.1 Forma y tamaño de las semillas de maíz

Las semillas de maíz tienen formas muy irregulares, éstas pueden ser esféricas u oblongas. Esta característica está determinada por la variedad o híbrido. La caracterización se realiza por las dimensiones geométricas; esto es, longitud, ancho y grosor. Los valores numéricos de las dimensiones de las semillas son de gran importancia para el diseño de las celdas del mecanismo de dosificación ya que de ello depende que se pueda diseñar una celda de tal manera que entregue una sola semilla y que cumpla con un amplio rango de tamaños.

Para la obtención de los datos anteriores, se seleccionó la variedad Mex180 considerando como la más representativa en su uso en el campo mexicano y que contiene todas las formas y tamaños posibles, cubriendo de esta manera todas las variedades existentes con las diferentes dimensiones posibles.

Después se realizó una clasificación de forma mediante una criba vibratoria con el fin de obtener fracciones uniformes. Se obtuvieron seis fracciones, de cada una de ellas se hizo la medición de 200 semillas de largo, ancho y grosor (Figura 3.1) con un Vernier digital.

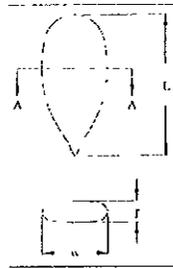


Figura 3.1: Características geométricas de la semilla de maíz: *L*-Longitud, *T*-Grosor y *w*-Ancho.

Una vez obtenidos los datos de largo, ancho y grosor de las semillas de las fracciones, se procedió a calcular la media aritmética con la siguiente fórmula:

$$l_m = \frac{\sum_{i=0}^n b_i}{n} \quad (3.1)$$

Donde:

l_m = Longitud, ancho o grosor media, mm;

b_i = Longitud i -ésima de semillas, mm;

n = Número de semillas medidas, mm;

$\sum_{i=0}^n b_i$ = Sumatoria de las mediciones de longitud, ancho o grosor de las semillas.

Los resultados de la clasificación y de las mediciones se presentan en la Tabla 3.1

Tabla 3.1: Fracciones y dimensiones de la semilla de maíz.

Fracción	Tamaño		
	Largo (mm)	Ancho (mm)	Grosor (mm)
Redonda grande	11-15	9-12	3-6
Redonda plana grande	11-16	9-11	3-5
Redonda plana media 7	13-19	7-9	2-6
Redonda plana media 8	11-17	8-10	3-4
Redonda plana grande 2, 9	11-15	9-12	3-5
Redonda plana media 2, 7	12-17	7-9	3-7

3.3 Determinación del Índice de cono

En el diseño del órgano de siembra de la sembradora es importante tomar en cuenta algunas propiedades mecánicas del suelo. En este caso, se requiere determinar la resistencia a la penetración del suelo o índice de cono para la selección del perno que unen las cuchillas.

Para la determinación del Índice de cono se eligió un terreno de cultivo sin preparar con residuos de cosecha y en estado seco (sin riego) próximo a ser sembrado. Lo anterior se hizo con el fin de obtener valores máximos de resistencia a la penetración y así englobar los suelos húmedos o con riego.

Se requirieron los siguientes materiales para realizar las pruebas de resistencia a la penetración del suelo:

- 4 Recipientes de hojalata para muestras de suelo.
- 1 Estufa de 110°.
- 1 Balanza de precisión (mínima escala 0.1 g).
- 1 Etiquetas y material para identificar las muestras.
- 1 Penetrómetro estático con pistón de acero inoxidable de 5 mm de diámetro.

El procedimiento para llevar a cabo la determinación del Índice de cono es la siguiente [18, 19]:

- Se marcan las hojalatas (recipiente) con código (número del 1 al 14) apropiado para identificar las diferentes muestras tomadas.

- Se prepara la hoja de registro de datos.
- Se selecciona de manera aleatoria, para el presente caso, 14 sitios en el campo para realizar el muestreo. Se extrae de cada sitio una muestra de acuerdo al volumen de las hojalatas.
- Se coloca en ceros el indicador de la fuerza máxima del penetrómetro. Se limpia de residuos vegetales la superficie del suelo en donde se hace la prueba y se marca con círculo de aproximadamente 10 cm de diámetro.
- Se introduce el pistón del penetrómetro lentamente (200 mm/s) hasta que alcance 12 mm de profundidad. Se registra la fuerza máxima aplicada. Una vez registrada la fuerza, se prosigue en otro sitio y así hasta terminar.
- De las muestras de suelo tomadas en cada sitio de prueba, se vacía en un recipiente y se revuelven y se toman 4 muestras. Para determinar la humedad y la densidad del suelo las muestras se secan a 100 -110 °c por 24 horas en la estufa.

Para obtener el valor de la media aritmética del Índice de cono se usa la ecuación (3.1). Sustituyendo los valores mostrados en la Tabla 3.2, se obtiene que es de 8.286 lib/pul².

Tabla 3.2: Índice de cono del suelo.

No.	Profundidad (mm)	Esf.de penetración (lb/p ²)	M. suelo húmedo (gr)	M. suelo seco (gr)	Densidad aparente
1	12	8.1	95.498	84.378	1.27
2	12	8.6	131.075	113.165	1.70
3	12	7.6	93.21	83.170	1.25
4	12	8.3	112.277	97.647	1.47
5	12	8.3			
6	12	8.2			
7	12	8.3			
8	12	8.1			
9	12	8.2			
10	12	8.6			
11	12	7.9			
12	12	8.5			
13	12	8.6			
14	12	8.7			

3.4 Metodología de diseño

Para el diseño de la sembradora se realizó en primer lugar una revisión bibliográfica con el fin de conocer los distintos tipos de espeques existentes en la actualidad, los requerimientos de siembra, características físicas y mecánicas de la semilla de maíz, así como las características mecánicas del suelo necesarios para el diseño.

En segundo lugar, se llevó a cabo el diseño conceptual. Se hizo la definición de los requerimientos y restricciones que debe cumplir el dispositivo, se determinó la función principal y a partir de ésta se realizó la descomposición funcional y generación de conceptos, y se propusieron los mecanismos más adecuados para cada función. Y se integraron los conceptos generados, formando así el concepto general.

En tercer lugar, por un lado, se realizó el diseño de los componentes secundarios; es decir, las partes que no requieren de cálculos rigurosos y que a consideración y criterio del diseñador se pueden dimensionar por resistencia y funcionalidad. Por otro lado, se realiza la síntesis dimensional y simulación de las partes primarias; esto es, las partes que están en movimiento y que son necesarias que estén en sincronía con los demás componentes. En esta parte está el mecanismo de dosificación y depositación de semillas. Y al mismo tiempo se eligen los materiales a utilizar en la fabricación.

Una vez obtenida toda la información respecto a las características geométricas y longitudinales de los elementos se procedió a la elaboración de los planos, siendo ésta la parte final del diseño. Los planos que ejecutaron son los de conjunto, subconjunto y piezas más importantes.

Se procedió a la construcción del prototipo según los planos elaborados. En el momento de la fabricación se hicieron algunos ajustes para lograr un funcionamiento adecuado. Se hizo una evaluación de laboratorio de funcionamiento del sistema de dosificación y depositación de la semilla, a fin de observar la iteracción semilla-máquina como base para la prueba de campo.

Por último, se hicieron algunas pruebas de campo con el fin de verificar el funcionamiento en trabajo real, principalmente el sistema de dosificación. Se analizaron la cantidad de semillas dosificadas, dañadas o quebradas.

Capítulo 4

Diseño conceptual

4.1 Introducción

Una vez conocido ampliamente el entorno del problema a resolver, ahora en éste capítulo se procede a realizar el diseño conceptual de la sembradora portátil. Para ello, primeramente se considera una serie de restricciones y especificaciones que debe cumplir el dispositivo de acuerdo a los sistemas de producción en los cuales se utilizará y a la revisión bibliográfica efectuada. Seguidamente, se eligen los elementos y mecanismos que compondrá la sembradora según la función o concepto a desempeñar. Se hace un análisis riguroso de cada uno y se decide la viabilidad de los mismos. Y por último se integran para obtener el desarrollo conceptual.

4.2 Especificación de diseño

Para iniciar el diseño del espeque existen un conjunto de especificaciones técnicas que deben cumplir tanto el dispositivo mismo, como el suelo y la semilla. En forma general, las características que el espeque debe tener son las siguientes:

- Sembrar en el sistema de producción roza-tumba-quema.
- La sembradora debe ser similar al bastón plantador que se utiliza actualmente; es decir, compacto, ligero y portátil con un peso aproximado de 2 kg.
- La siembra es a golpes en hileras (Figura 2.5) que puede ser en surcos, en llano o en cerro (Figura 2.6) dependiendo de la forma del terreno, humedad disponible o si es de temporal o riego.
- La sembradora debe manear las semillas adecuadamente sin dañar.

- Manejar todos los tipos (calibres) y tamaños (Tabla 3.1) de las semillas de maíz existentes en el campo mexicano.
- Dosificar de dos a tres semillas, según considere el sembrador.
- Entregar y colocar la semilla de 5 a 10 cm de profundidad (según el criterio de contenido de humedad del suelo por parte del sembrador).

4.3 Conceptualización del sistema

En el capítulo 1 se realizó la formulación del problema a resolver, el cual consiste en "diseñar y construir una sembradora portátil para siembra de maíz" en condiciones de temporal. También se hizo una revisión acerca de los requerimientos agrotécnicos de los cultivos, características físicas y mecánicas de las semillas, propiedades mecánicas de los suelos, así como los distintos espeques mecánicos existentes en la actualidad. Y por último se especificaron los requerimientos de diseño. En este capítulo se utilizará todo este conocimiento para el desarrollo del dispositivo en referencia.

Para el diseño conceptual se utiliza la descomposición funcional y generación de conceptos. La función principal se descompone en subfunciones, y a partir de éstas últimas se generan conceptos para la cumplir la función. La primera nos permite idear una secuencia lógica de las acciones que debe realizar la sembradora para la siembra y también ayuda a estructurar mejor las ideas. La segunda nos permite asignar conceptos (componentes y mecanismos) para cada función.

Para la siembra de cualquier cultivo, es este caso la siembra de semilla de maíz a golpes, el sembrador debe realizar una serie de operaciones o fases antes y después de colocar la semilla en el suelo. Las principales fases para la siembra son:

- Abrir el hoyo o surco a una profundidad adecuada.
- Seleccionar o dosificar la semilla.
- Colocar la semilla en el hoyo.
- Tapar o cubrir la semilla.
- Compactar o comprimir un poco el suelo alrededor de la semilla.

En base a estas fases (subfunciones) que el dispositivo debe hacer para la siembra, se realiza una segunda descomposición (segundo nivel) de las fases (Tabla 4.1). Una

vez realizado lo anterior, se procede a asignar conceptos o mecanismos (dispositivos) para ejecutar o cumplir la subfunción[20, 21]. Se procede a la selección de un solo concepto para cada subfunción y combinarlos para cumplir las fases de la siembra. Y por último, se esquematizan cada uno de los conceptos (ideas) con las funciones y se integran en uno solo para obtener el principio global para la siembra mecánica.

Tabla 4.1: Desarrollo de conceptos para las subfunciones.

1. Abrir hoyo o surco	Conceptos
1.1 Seleccionar sitio.	Sist.de visión, rayo infrarrojo, ojo.
1.2 Limpiar sitio.	Mano, pie, barra metálica, con el mismo dispositivo.
1.3 Golpe de impacto.	Cilindro neumático, resortes, leva excéntrica, mano.
1.4 Apertura del hoyo.	Punta cónica, punta en forma de cuña, punta cónica con divisiones.
2. Dosificar la semilla	
2.1 Contener la semilla.	Tolva cilíndrica, tolva troncocónica, tolva cuadrada.
2.2 Dosificar la semilla.	Plato semillero, dosificador cilíndrico, banda dosificadora, plato semillero neumático, dosificador de dedos.
2.3 Eliminar exceso de semilla.	Cepillo eliminador, placa flexible, placa de plástico, hule.
2.4 Entrega de la semilla.	Mediante un giro del dosificador, barra empujadora, placa elíptica, transmisión por cadena.
2.5 Conducción de la semilla.	Tubo circular, tubo cuadrado, manguera flexible.
2.6 Posicionamiento de la semilla.	Punta, placa contenedor, gatillo, placa deslizante.
3. Entrega de la semilla	
3.1 Apertura de la cuchilla	Leva, mano, pie, resorte, media leva.
3.2 Cierre del sistema de entrega.	Resorte a presión, media leva, mecanismo de cuatro barras, soltar una manija.
3.3 Elevación del sistema.	Sistema de resortes, manos, cilindro neumático de retorno.
4. Cubrir la semilla	Pies, sistema de vibración, dedos múltiples, ruedas compactadoras, placas removedoras de suelo.
5. Comprimir el suelo	Cilindro neumático, rueda compactadora, pie, mano

4.3.1 Análisis y combinación de conceptos.

1. **Selección y limpieza del sitio de siembra.** Tomando en cuenta la restricción de que el dispositivo debe ser portátil y el sistema de producción roza-tumba-quema en donde el productor determina a su consideración la distancia de siembra, se asume que el sembrador seleccione y limpie de residuos de cosecha o material orgánico, en caso de existir, con el mismo dispositivo el lugar o el sitio en donde se hará el hoyo para la siembra.

2. **Apertura del hoyo y depositación de la semilla.** Para realizar la apertura del hoyo en el proceso de siembra, se analizaron diversas formas geométricas (Tabla 4.1) y se construyeron varios modelos de puntas (cuchillas). Después de varias pruebas se definió como la mejor opción utilizar una punta en forma de cuña.

Una vez abierto el hoyo, se requiere depositar la semilla antes de retirar la cuchilla y taparse de suelo nuevamente. Para lograr lo anterior, se propone que la cuchilla esté compuesta de dos partes, cuchilla inferior y cuchilla superior unidas mediante un perno como eje de giro (Fig. 4.1). A fin de mantener siempre cerradas, como si fueran una sola pieza, se coloca sobre el eje de giro un resorte a torsión.

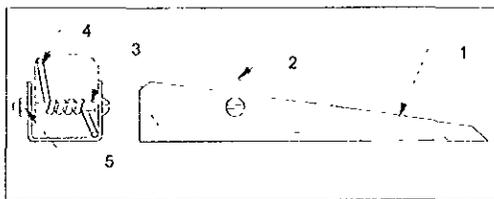


Figura 4.1: Cuchilla (1. Cuchilla superior; 2. Cuchilla inferior; 3. Perno o eje; 4. Resorte de torsión; 5. Tuerca).

Las cuchillas (cuña) se ensamblan en un soporte principal o mango (parecido al que utilizan actualmente los productores). La punta cónica en forma circular se descarta debido a que su construcción es muy difícil y aumentaría los costos de fabricación.

El golpe de impacto para abrir el hoyo, depositar la semilla y retirar la sembradora los debe realizar el mismo productor como lo hace actualmente.

3. **Sistema para apertura y cierre de las cuchillas.** Una vez que el mecanismo de siembra se ha impactado sobre el suelo y la punta se encuentre dentro del suelo (Figura, 4.2a), se requiere abrir las cuchillas, depositar la semilla y cerrar la punta (cuchillas). El dispositivo sembrador debe realizar estas tres acciones dentro del suelo a la profundidad de siembra, antes de que sea retirado y que se tape el hoyo de tierra.

Es necesario considerar que el productor no debe ejecutar movimientos complicados para hacer las anteriores funciones.

Después de una serie de análisis de sistemas mecánicos y realizado algunos modelos de prueba, se llega a la conclusión de que las cuchillas se pueden abrir colocando un soporte sobre la cuchilla inferior mediante pernos. De esta manera, el sembrador empuja el mango hacia delante apoyándose el soporte sobre el suelo y se abre, a la vez, la cuchilla inferior desplazando el suelo, entregando así la semilla (Figura, 4.2b).

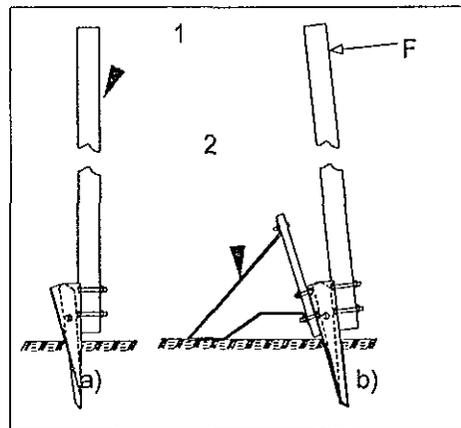


Figura 4.2: Forma de apertura de las cuchilla (1. Mango; 2. soporte).

Para evitar que la punta regrese la semilla al cerrarse las puntas y salir del hoyo, se hace que la cuchilla inferior sea de menor longitud que la cuchilla superior. Al regresar a la posición inicial (vertical) las cuchillas se cierran nuevamente y se procede a alzarlo.

4. Dosificación de la semilla. Para esta parte del proceso de siembra se analizaron los distintos tipos de sistemas distribuidores que se utilizan actualmente en los espeques y en las sembradoras. Los dispositivos dosificadores de los espeques (capítulo 2) pueden ser de plato circular perforado o rodillos con alvéolos en la periferia. La desventaja que presentan éstos es que para variar la cantidad de semilla depositada por hectárea, se requiere intercambiar discos o rodillos. Otro problema que se tiene con este tipo de dosificadores se presenta con la diversidad de tamaños y formas de las semillas.

En el campo mexicano, aproximadamente el 80% de los productores de maíz utilizan para la siembra su propia semilla (no certificada). Los agricultores que usan sembradoras acopladas al tractor no pasan su semilla por una criba para seleccionar un tamaño uniforme. Esto provoca que al hacer pasar diferentes tamaños por las celdas del plato dosificador puedan pasar más de las necesarias o bien dañadas o en su defecto ninguna.

Según el modelo de la sembradora, es posible contar con varios tamaños de platos semilleros que permiten variar la distancia entre plantas y el número de semillas por golpes; en otros casos, los distribuidores ofrecen platos ciegos para que el mismo productor determine el tamaño de la celda y la distancia entre plantas. Sin embargo, para la amplia gama de tamaños de semillas con que se cuenta en México, los agricultores no cuentan siempre con el tamaño del dosificador adecuado.

Por lo anterior, se hace necesario diseñar un nuevo dosificador, cuyo tamaño se adapte a la variabilidad de la semilla. Además, que el dosificador sea único, o sea, que no haya que intercambiar piezas en el mismo para variar la densidad de siembra, o en su defecto, para diferentes tamaños de grano.

El problema consiste en variar el volumen de la celda en donde entra la semilla. Esta variación debe ser desde para una semilla pequeña hasta para dos o tres semillas de mayor tamaño (según sean los calibres de las semillas).

Considerando la idea de que se debe generar una celda en donde se pueda controlar el volumen, se toma el principio de desplazar una placa metálica sobre un cilindro. Sobre el cilindro se realiza la celda o alvéolo de acuerdo a las dimensiones de la semilla de mayor tamaño, considerando dosificar de dos a tres semillas.

Lo anterior da la idea de unión entre dos cilindros por medio de un perno y mariposa (Figura 4.3), en donde se puede variar la cavidad al deslizar la placa sobre el cilindro, tomando como guías las paredes de la celda y la parte interior de la misma. Por la forma de la semilla y para evitar daños, se redondean dos lados de la celda.

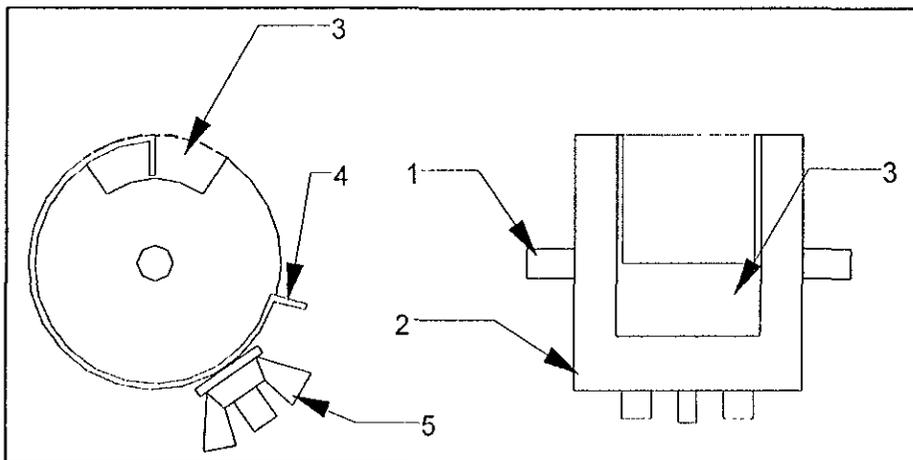


Figura 4.3: Dosificador (1. Eje; 2. Rodillo; 3. Celda; 4. Placa deslizador y 5. Mariposa).

Las dos piezas se montan sobre un eje; el cilindro está fijo y la placa móvil, de tal manera que, ésta última, se pueda desplazar al hacer girar sobre el primero. Así al tener diversos tamaños y formas de las semillas, con sólo girar la placa sobre el cilindro se podrán dosificar las mismas. El eje está ensamblado, a su vez, sobre dos cojinetes a fin de que gire junto con el dispositivo de dosificación al momento de seleccionar y entregar la semilla al mecanismo de colocación al suelo.

Por la geometría de las semillas, con el transporte del dispositivo y los golpes de impacto, tienden a acomodarse (compactarse) en la parte inferior de la tolva en donde se encuentra el dosificador y, como consecuencia, se forma una cuña. Al hacer girar el dosificador para seleccionar las semillas no se introducen en la celda provocando, así, inconsistencia en la dosificación.

Analizado este problema, se opta por colocar el dosificador en una caja (Figura 4.4) e incorporar a ésta última una pared móvil por medio de una corredera, con el fin de controlar la cantidad de semilla que llegue al dosificador y evitar así la compactación.

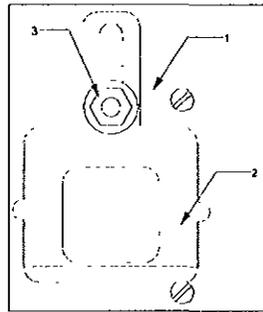


Figura 4.4: Caja del dosificador, vista superior (1. Caja; 2. Pared móvil; 3. Perno de sujeción).

Para complementar la conceptualización del dosificador, que englobando los conceptos anteriores dosifique de una a dos semillas, se requieren conceptos adicionales que contribuyan a lograr esta función.

El primero de ellos es lo referente al problema que se presenta al momento de la dosificación. En la celda generalmente se introducen más semillas de las necesarias y en este caso, se requieren solamente de dos a tres. Para solucionar este problema, eliminar las semillas que se introduzcan de más en la celda del dosificador, se fija un rasador de hule flexible sobre la parte superior de la caja. De esta manera, al girar el dosificador con la celda con semillas que estén de más se elimina quedando solamente las que se encuentren dentro de la celda (Fig. 4.5). Se descarta el cepillo dado que se desgasta muy rápido.

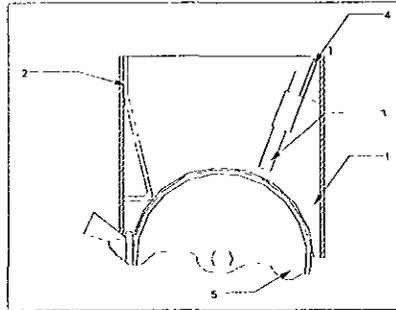


Figura 4.5: Rasador de semillas (1. Caja del dosificador; 2. Placa de pared; 3. Soporte del rasador; 4. Rasador; y 5. Rodillo).

5. **Contención de la semilla.** Para contener la semilla, considerando que el dispositivo no debe tener un peso mayor de 2 kg. y por las características de las semillas a sembrar, se considera adecuada una tolva cuadrada (Fig. 4.6) en la parte superior con una inclinación en la parte media. Se descarta la tolva cilíndrica, dado que se dificulta su construcción para darle una inclinación en la parte inferior necesario para un flujo adecuado de semilla hacia el dosificador.

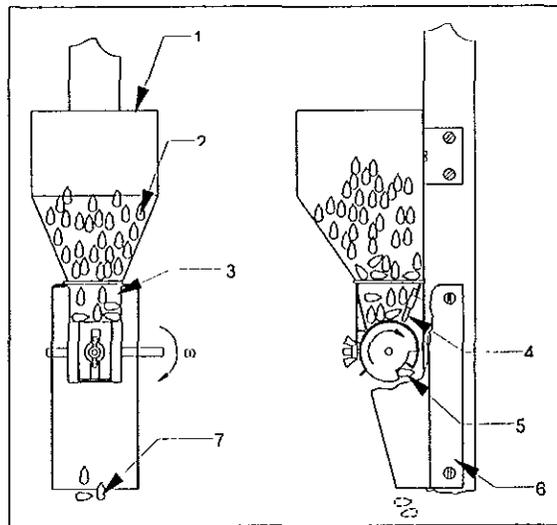


Figura 4.6: Sistema de dosificación (1. Tolva; 2. Semillas; 3. Caja; 4. Rasador; 5. Semillas en la celda; 6. Soporte y 7. Semillas dosificadas).

Para conducir la semilla, una vez dosificada, hacia las cuchillas (punta) se considera adecuado prolongar el soporte (6) hasta dentro de las cuchillas.

6. **Selección y entrega de la semilla.** El siguiente concepto a desarrollar se refiere al problema de hacer girar el dosificador para seleccionar y entregar las semillas. Para poder realizar las funciones anteriores se dispone del desplazamiento circular que realiza el soporte al ser empujado el mango hacia delante para abrir las cuchillas.

En base a experimentos realizados previamente, se observó que es de suma importante que las semillas dosificadas ya se encuentren entre las cuchillas al momento del impacto. Esto con la finalidad de que tan pronto se abran las puntas salgan las mimas. En caso contrario, es necesario esperar a que las semillas lleguen al suelo y cerrar la punta. Por lo tanto, la dosificación se realizará antes de la entrega de las semillas.

Dadas las consideraciones anteriores y después de un análisis riguroso de diversos mecanismos y sistemas mecánicos, se elige como mejor opción utilizar un mecanismo multicuerpos (Figura 4.7) fijo en el soporte y sobre el mango. De esta manera, al empujar hacia delante el mango para abrir las cuchillas, el soporte transmite el movimiento giratorio, mediante eslabones, al eje del cilindro dosificador, haciendo que éste último gire para que la celda tome de dos a tres semillas de tolva. Mientras el dosificador selecciona las semillas, las cuchillas entregan las semillas previamente dosificadas. Al regresar a la posición inicial el mango, también lo hace el soporte mediante el resorte de torsión transmitiendo nuevamente el movimiento hacia el dosificador para traer semillas y dejarlas caer hacia las cuchillas, quedando ahí retenidas mientras se realiza la siembra en otro sitio.

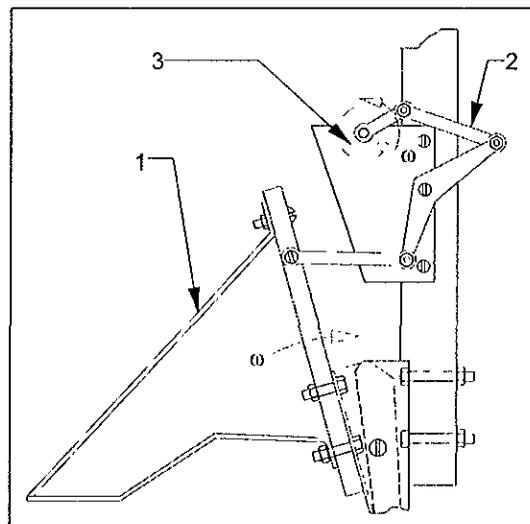


Figura 4.7: Mecanismo de movimiento del dosificador (1. Soporte; 2. Mecanismo y 3. Dosificador).

Por la sencillez que debe tener el mecanismo y los costos de producción y, además, de portátil, no debe tener sistemas muy complicados. Por lo que se asume que, una vez depositada la semilla, el sembrador coloque su pie sobre la incisión para taparla, quedando de esta manera cubierta la semilla de suelo. Esto será en el caso en que, al momento de la salida del dispositivo sembrador, no se precipiten partículas de suelo al hoyo. Actualmente el productor realiza el tapado de la semilla de esta manera.

En los sistemas de producción en consideración, no será necesario compactar el suelo alrededor de las semillas porque el suelo no está preparado (se encuentra suelto) como en el caso de la labranza tradicional en donde se realiza esta operación, con el fin de que las raíces se afiancen en el suelo al inicio de la germinación. En este sistema, el suelo en donde se coloca la semilla esta muy sólido, por lo que al nacer y crecer las raíces se afianzaran duramente sobre el terreno.

7. Integración de conceptos. Una vez definidos, analizados y esquematizados cada uno de los conceptos para la siembra de maíz, se procede a integrar en un solo concepto general. La figura 4.8 muestra el resultado final de la conceptualización de la sembradora portátil.

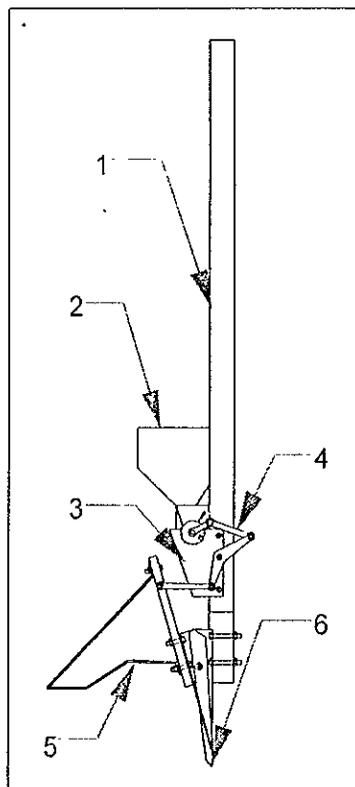


Figura 4.8: Esquema de la sembradora portátil conceptualizada (1. Mango; 2. Tolva; 3. Soporte del sistema de dosificación; 4. Mecanismo; 5. Soporte de empuje y 6. Cuchillas).

Después de llegar a este diseño conceptual se realiza, en los próximos capítulos, el diseño de cada uno de los sistemas y elementos definidos. Se dimensionan los elementos que, a criterio del diseñador, no requiere de rigurosos cálculos. En las partes que requieren de análisis rigurosos, partes móviles, se realiza la síntesis dimensional. Se ejecutan los planos de conjunto, subconjunto y de piezas.

Capítulo 5

Diseño de la sembradora

5.1 Introducción

En este capítulo se realiza el diseño de cada uno de los elementos de la sembradora. Se definen la forma y dimensiones globales, los elementos estructurales, así como los materiales de construcción que se utilizarán en éstos.

En primer lugar, se diseñan los elementos que no requieren de cálculos rigurosos; es decir, los elementos que estén regidos por las características del material a manejar, por las restricciones de diseño y en donde el diseñador puede utilizar su criterio. Entre estos están el mango, la punta, el soporte, la tolva, el rodillo dosificador, el limitador de semillas y el eje principal.

Posteriormente se diseñan las partes que, para su dimensionamiento, requieren de modelaciones matemáticas. En esta consideración se encuentra el mecanismo de dosificación y entrega de las semillas. A continuación procederemos al diseño de estos elementos.

5.2 Diseño del mango de sujeción

En este componente van acoplada la cuchilla, el mecanismo multicuerpos, el soporte y el sistema de dosificación. El mango propuesto tiene la representación geométrica que se muestra en la figura 5.1. La longitud que se considera adecuada es de 1500 mm de largo, 35 mm de diámetro, aunque esto puede variar dependiendo de las características antropométricas de la persona. En el extremo inferior tiene dos perforaciones en donde se sujetan las cuchillas mediante pernos.

Para la construcción del mango se elige como material madera de cedro debido a su bajo costo, peso y mayor accesibilidad. El campesino lo puede adquirir en cualquier maderería o extraer del monte. Las características de éste puede elegir las según su criterio de funcionalidad en cuanto a peso y maleabilidad.

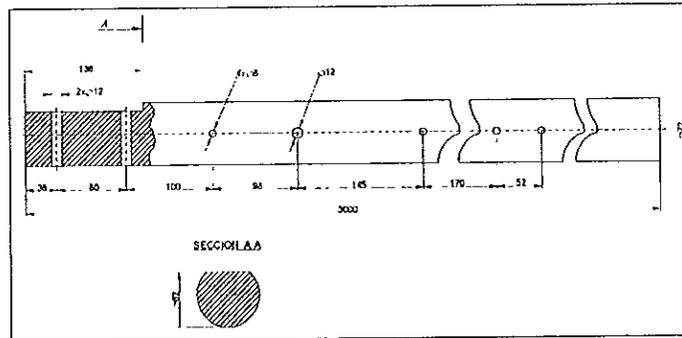


Figura 5.1: Mango de sujeción.

5.3 Diseño de la cuchilla

La cuchilla en conjunto tiene la forma de una cuña (líneas continuas), como se muestra en la figura 5.2. Consta de dos partes, cuchillas superior e inferior. Se unen mediante un perno que a la vez funciona como eje de giro al momento de la entrega de la semilla. Esta geometría se asume como si fuera el filo de una cuchilla.

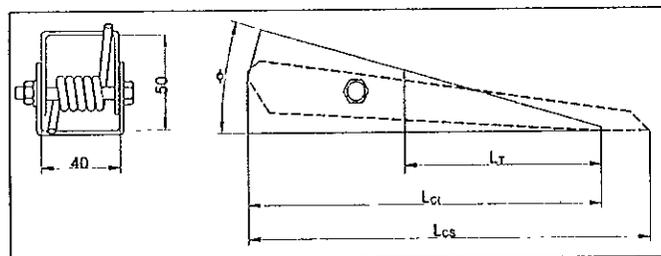


Figura 5.2: Cuchilla (acot: mm).

Las dimensiones de la punta o cuchilla se definen en base a la profundidad de siembra del cultivo y el ángulo de filo (ϕ) en el cual se requiere menor cantidad de fuerza de penetración o de corte del suelo.

La longitud de trabajo (L_T) de la cuchilla está determinada por la profundidad de siembra de los cultivos. Según el epígrafe 2.2 y la Tabla 2.2, la profundidad de siembra de los granos de maíz varía de 6 a 10 cm. Considerando esta exigencia agrotécnica, se decide que la cuchilla tenga 10 cm de penetración o de trabajo efectivo. En caso de que se requiera menor profundidad de siembra, el operador lo puede controlar de acuerdo a su experiencia.

El ángulo de inclinación ϕ de la cuchilla es un parámetro de suma importancia que influye en la fuerza necesaria para la penetración al suelo y a los requerimientos de potencia. De acuerdo con diversos trabajos de investigación [12, 13, 22], el ángulo de filo para los elementos de corte (apertura) con requerimientos mínimos de potencia oscila entre 17° y 30° dependiendo del filo y forma de la cuchilla. Para este caso se utilizará un ángulo (ϕ) de 17° .

El ancho de la cuchilla depende de las características funcionales de la misma y dimensiones de las semillas a sembrar. Se asume adecuado que la cuchilla tenga un ancho de 40 mm a fin de que se pueda limpiar si en algún momento se llena de tierra al estar sembrando. Y un grosor de 50 mm para disponer de espacio suficiente para el resorte y puedan pasar las semillas.

El tamaño de apertura de la punta depende de las dimensiones de la semilla. Según las Tablas 2.2 y 3.1, generalmente los granos de maíz miden longitudinalmente de 10 a 20 mm. En algunos casos miden 23 mm considerando la cutícula. Por lo tanto, se asume que la cuchilla se abra 25 mm (equivalente a 12° de rotación de la cuchilla inferior) para dejar salir la semilla y sea depositada en el hoyo.

Dado que la punta (cuchilla inferior y superior) está solicitada a cargas considerables de impacto al sembrar, se elige como material para su construcción lámina de acero estructural. Como la longitud de trabajo de la cuchilla va a estar sometido a diferentes condiciones de suelo e incluso terrenos pedregosos, se hace un tratamiento térmico de cianuración de endurecimiento para evitar desgastes prematuros. Las características dimensionales de cada una de ellas se muestran en el anexo A.

5.3.1 Modelación de la cuchilla

Para determinar el diámetro del perno de sujeción entre las cuchillas en función de la geometría, de la resistencia a la penetración del suelo y de la fuerza aplicada por parte del operador, procederemos a modelar la acción de siembra.

Una de las operaciones más importantes en el establecimiento de un cultivo lo constituye la siembra, ya que en la misma es donde se procede a realizar el hoyo para colocar la semilla de acuerdo a los requerimientos agrotécnicos del mismo.

Al llegar por impacto la cuchilla al suelo ésta penetra venciendo su resistencia y posteriormente dejar abierto el hoyo. Durante esta acción se presentan varias deformaciones

en el suelo; éstas dependen de las propiedades físicas y mecánicas del suelo, de la geometría de la cuchilla y de la cinemática del proceso[12].

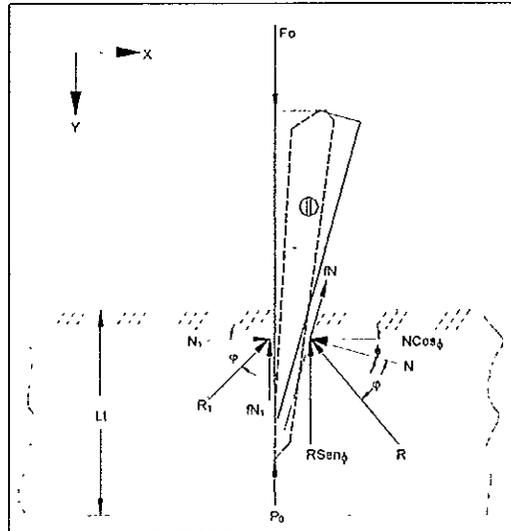


Figura 5.3: Fuerzas que actúan en la cuchilla.

La cuchilla tiene la forma de una cuña con un ángulo de filo ϕ , una profundidad de penetración Lt y un grosor de filo a . El movimiento de impacto es en sentido vertical, según el marco de referencia mostrado en la Figura 5.3.

Consideremos un instante dado del proceso de penetración de la cuchilla al suelo, sobre ella actúan las fuerzas (figura 5.3) N_r , P_0 y la fuerza de fricción suelo/metal fN_1 . La fuerza N_r es la resistencia que ofrece el suelo a la acción de la cuchilla en la forma de una reacción normal, éste tiene dos componentes $N_r \text{ sen } \phi$ y $N_r \text{ cos } \phi$. La fuerza P_0 actúa sobre la punta de la cuchilla en sentido vertical dependiendo de la reacción del suelo, es una fuerza vertical que aparece al momento del impacto de la cuchilla sobre el suelo y esta dado como $P_0 = \sigma_p A$. La fuerza fN_1 actúa en la cara lateral vertical de la cuchilla con un ángulo de 90° en dirección opuesta al movimiento. Esta fuerza es una componente horizontal perpendicular a la dirección del movimiento.

Para la cuchilla en cuestión, descomponiendo en sus componentes todas las fuerzas que actúan sobre ella y considerándolos sobre le eje vertical, se obtiene la ecuación de balance para la condición de equilibrio. Entonces de la Figura 5.3, se tiene:

$$\sum F_y = 0, + \downarrow \quad (5.1)$$

$$F_0 = P_0 + N_r \text{ sen } \phi + fN_1 + fN_r \text{ cos } \phi$$

Donde $f = \tan \phi$ es el coeficiente de fricción entre el suelo y la cuchilla, y F_0 es la fuerza requerida para la apertura del hoyo, N .

Para el caso de la dirección x , no existe movimiento, por lo que se tiene:

$$\sum F_y = 0, + \rightarrow \quad (5.2)$$

$$N_1 - N_r \cos \phi + fN_r \operatorname{sen} \phi = 0$$

En la ecuación (5.2) está el término N_1 , como no existe movimiento en la dirección x , se despeja N_1 y se sustituye en (5.1) para simplificar. Realizando lo anterior se tiene:

$$F_0 = P_0 + f(N_r \cos \phi - fN_r \operatorname{sen} \phi) + fN_r \cos \phi + N_r \operatorname{sen} \phi \quad (5.3)$$

Haciendo las operaciones y simplificaciones necesarias a la ecuación (5.3) se tiene la siguiente expresión de fuerza de corte para la cuchilla:

$$F_0 = P_0 + N_r [\operatorname{sen} \phi (1 - f^2) + 2f \cos \phi] \quad (5.4)$$

La primera parte de la ecuación (5.4) relaciona la fuerza útil para iniciar el corte del suelo, mientras que el segundo término la fuerza que se utiliza para vencer la resistencia debido a la fricción suelo-metal y a la geometría de la cuchilla.

La fuerza de resistencia N_r del suelo no es constante durante el proceso de siembra, sino que aumenta a medida que se profundiza la cuchilla. Para conocer la fuerza de resistencia N_r se expresa en función de la resistencia al esfuerzo cortante (Índice de cono determinado en el Capítulo 3) por el área de la parte inclinada de la cuchilla. Así se tiene:

$$N_r = \sigma_p A_c \quad (5.5)$$

Donde σ_p es el Índice de cono del suelo y A_c el área de la parte inclinada de la cuchilla. Sustituyendo el valor numérico promedio obtenido de las pruebas de resistencia a la penetración del suelo (Tabla 3.2) y el área de la cuchilla en la ecuación (5.5), se tiene:

$$N_r = \left(5.71 \frac{N}{cm^2} \right) (4.4cm) (10cm) = 251.24N$$

Para el caso de la fuerza corte útil P_0 se determina de la misma forma considerando el grosor y ancho de la cuchilla para obtener el área en la cual se aplica la fuerza. Sustituyendo las dimensiones de la cuchilla y el Índice de cono se tiene:

$$P_0 = \left(5.71 \frac{N}{cm^2} \right) (0.2cm) (4.4cm) = 5N$$

Ahora se procede a obtener la fuerza F_0 que se debe aplicar para vencer la resistencia del suelo para la apertura del hoyo para la semilla. De acuerdo con [10], el coeficiente de fricción suelo - metal varía de $f = 0.40 - 0.50$; para realizar los siguientes cálculos se

considera $f = 0.50$. Sustituyendo los valores numéricos de N_r , P_0 y f en la ecuación (4.5) y haciendo las operaciones necesarias se obtiene que $F_0 = 298.45N$.

La magnitud de la fuerza calculada anteriormente corresponde cuando se considera la cuchilla como un cuerpo rígido o sólido. Para calcular el perno que unen las cuchillas se toma en cuenta únicamente las dimensiones de la cuchilla inferior (Anexo A) en la cual se aplican las fuerzas del suelo. Aplicando la misma metodología anterior se tiene que $N_r = 228.4N$ y $P_0 = 4.6N$; sustituyendo estos valores en la ecuación (5.4) se tiene que $F_0 = 271.37N$.

5.3.2 Cálculo de los pernos de la cuchilla

Una vez determinada la magnitud de la fuerza necesaria para abrir el hoyo para depositar las semillas, se procede a determinar los diámetros de los pernos que sujetan a las cuchillas y al mango, respectivamente en función de ésta fuerza.

La selección del perno se realiza en base a los criterios de resistencia. La figura 5.4 muestra la disposición del perno, así como la fuerza que actúa sobre el mismo. La fuerza cortante V se traslada hacia el centro O del perno, esto es $V = 271.37N$.

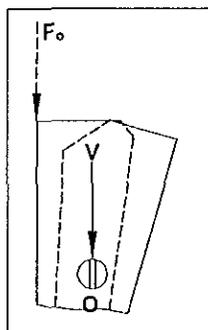


Figura 5.4: Fuerza sobre el perno.

Según[23] el esfuerzo de corte para un elemento de máquina que se encuentra atornillado está dado como:

$$\tau = \frac{F}{At} \quad (5.6)$$

Donde $F = F_0$ es la fuerza aplicada a la cuchilla por parte del operador para sembrar y At es el área (mm) transversal del rectángulo que representa la proyección del perno en la sección de la cuchilla. El área transversal se define como:

$$At = \frac{\pi d^2}{4} \quad (5.7)$$

Donde:

d - Diámetro del perno, mm.

Despejando el diámetro del perno de la ecuación (5.7) y sustituyendo en la ecuación (5.6), se obtiene:

$$d = \sqrt{\frac{4F_0}{\pi\tau}} \quad (5.8)$$

Seleccionando un perno de grado SAE 5, de acuerdo con la Tabla 6.5[24], la resistencia límite a la tensión es $\sigma = 585.65 \text{ Mpa}$. Sustituyendo el valor numérico de F_0 determinado previamente con la ecuación (5.4) se tiene que el diámetro del perno es de 0.768 mm. Como el diámetro es muy pequeño, al diseñar cualquier elemento de máquina se trata de que sea funcional y disponible en el mercado; por lo tanto se considera adecuado un diámetro 6.3 mm ($1/4''$).

Los pernos que sujetan a la cuchilla superior del mango se seleccionan por funcionalidad, ya que si se realizan los cálculos se obtiene un diámetro muy pequeño. Para este caso se eligen dos pernos de diámetro igual a 6.3 mm ($1/4''$). Los pernos van soldadas en la parte lateral derecho de la cuchilla superior.

5.3.3 Cálculo del resorte

En esta sección se diseña el resorte de torsión para las cuchillas y el mecanismo multicuerpos. Se determina el diámetro (d_a) del alambre, el diámetro D_m del resorte y el número de las espiras activas (N_{ea}), así como las tensiones que surgen en las espiras.

Los resortes se utilizan en las máquinas para ejercer fuerzas, dar flexibilidad y almacenar o absorber energía. En este caso particular, el resorte de torsión tiene la función de mantener rígidamente cerrada la cuchilla de la sembradora y mover el mecanismo multicuerpos de dosificación y depositación al momento de la siembra.

El resorte, en la configuración inicial, tiene dos extremos libres a 90° . Cuando se ensambla sobre las cuchillas, uno de los extremos se apoya en la cuchilla inferior y el eslabón l_2 y, el otro extremo en la cuchilla superior para mantener cerradas las mismas (Figura 5.5). El resorte se coloca sobre un perno y éste a su vez sobre las cuchillas. Al momento del ensamble, el extremo que se apoya sobre la cuchilla inferior se deforma 65° y, cuando la cuchilla deposita las semillas, se deforma otros 12° a partir de la posición de ensamble.

La magnitud de la fuerza que se aplica al resorte para deformar al ensamblar y depositar las semillas no se conoce.

El espacio en que debe adaptarse y operar es de 35 mm. No se requiere mucha precisión en su fabricación, solamente que los extremos se apoyen adecuadamente y cumpla la función.

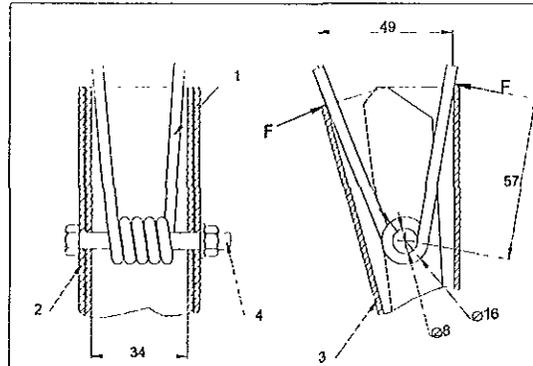


Figura 5.5: Resorte de torsión (1. Resorte; 2. Cuchilla superior; 3. Cuchilla inferior; 4. Perno (acot: mm)).

De acuerdo con las consideraciones anteriores, se selecciona un alambre de acero duro estirado en frío para el resorte, por ser el más común y de bajo costo, con un diámetro igual a 4 mm. Se propone que el resorte tenga un diámetro medio de 12 mm; como el alambre tiene 4 mm de diámetro, entonces se tiene 8 mm de diámetro interior.

En correspondencia con las características del material seleccionado y las dimensiones dadas se procede a realizar los siguientes cálculos.

Análisis de esfuerzos. Para realizar el análisis de esfuerzos en el resorte, se requiere determinar primeramente el índice del resorte, los factores de concentración de esfuerzos y la fuerza aplicada al mismo.

El índice del resorte, medida de la curvatura de las vueltas, se determina mediante la siguiente ecuación:

$$C = \frac{D_m}{d_a} \quad (5.9)$$

Donde:

C - Índice del resorte, adim.

D_m - Diámetro medio del resorte, mm;

d_a - Diámetro del resorte, mm.

Sustituyendo los valores $d = 4 \text{ mm}$ y $D = 12 \text{ mm}$ en la ecuación (5.9), el resultado que se obtiene es $C = 2$.

Para establecer los factores de concentración de esfuerzos interno (K_i) y externo (K_e) se utilizan las siguientes ecuaciones

$$K_i = \frac{4C^2 - C - 1}{4C(C - 1)}, K_e = \frac{4C^2 + C - 1}{4C(C + 1)} \quad (5.10)$$

Sustituyendo el índice C del resorte, se tienen $K_i = 1.44$ y $K_e = 0.708$. Como K_i es mayor que K_e , entonces el esfuerzo crítico sucede en el interior de las espiras.

Para estimar la resistencia última del material de resorte se utiliza la siguiente ecuación[25]:

$$S_{ut} = \frac{A}{d^m} \quad (5.11)$$

Donde:

A - Constante del material

d - Diámetro del alambre, mm

m - Constante.

Sustituyendo los valores de $A = 1750 \text{ Mpa}$, $d = 4 \text{ mm}$ y $m = 0.192$ en la ecuación (5.11) dados en la tabla 10-2[24], la resistencia última $S_{ut} = 1341 \text{ Mpa}$.

El esfuerzo de tensión permisible para un resorte de torsión se evalúa mediante la siguiente ecuación:

$$S_{ny} = \sigma_{perm} = 0.75 S_{ut} \quad (5.12)$$

Sustituyendo el valor de S_{ny} en la ecuación (5.12) y realizando las operaciones, se tiene que $S_{ny} = \sigma_{perm} = 0.75(1341) = 1005.75 \text{ Mpa}$. Lo anterior implica que al funcionar el mecanismo, el resorte nunca supera la resistencia última del material.

Dimensiones y características del resorte El esfuerzo por flexión que se produce en un resorte de torsión hecho de alambre redondo esta dado por la ecuación:

$$\sigma = K \frac{32 \mathbf{F}r}{\pi d^3} \quad (5.13)$$

Donde K es el factor de concentración de esfuerzo (interno o externo), $\mathbf{F}r$ el momento de torsión y d el diámetro del alambre del resorte. A fin de establecer el momento de torsión y la fuerza a los cuales estará sometido la cuchilla y el mecanismo en el

instante de la depositación y dosificación se reordena la ecuación (5.13), se sustituye σ por S_{ny} y se despejan \mathbf{Fr} y \mathbf{F} . Entonces:

$$\mathbf{Fr} = \frac{\pi d^3 \sigma}{32 K_i} = \frac{\pi (4)^3 (1005.75)}{32 (1.44)} = 4388.41 N.mm, \text{ y } \mathbf{F} = 77 N$$

A continuación se determina el número de espiras activas, para ello se utiliza la siguiente ecuación:

$$N_{ea} = \frac{E d_a K_i \theta_t}{2 \pi D_m \sigma} \quad (5.14)$$

Donde:

- N_{ea} - Número de espiras activas, adim.
- E - Módulo de elasticidad del material a cortante, Mpa;
- d_a - Diámetro del alambre del resorte, mm;
- D_m - Diámetro medio del resorte, mm.
- θ_t - Deformación angular, rads.

La deformación angular total de 77° que produce el momento \mathbf{Fr} es igual a 0.22 rads. Conociendo el módulo de elasticidad del material seleccionado, que para este caso $E = 207 \times 10^3 N/mm^2$, se sustituye en la ecuación (5.14) y se tiene que $N_{ea} = 4.67$ espiras, es decir, 5 espiras.

Cuando el mecanismo dosifica y deposita las semillas, el diámetro medio interior (D_{mi}) del resorte disminuye mientras que la longitud (L) del mismo aumenta[26]. Para conocer qué tanto disminuye el diámetro medio interior del resorte se utiliza la ecuación siguiente:

$$D_i = \frac{D_{mi} N_{ea}}{N_{ea} + \theta_t} \quad (5.15)$$

Donde D_i es el diámetro interior del resorte cuando se aplica la fuerza para dosificar y depositar las semillas, D_{mi} es el diámetro inicial del resorte en la condición libre, N_{ea} es el número de espiras activas en el resorte y θ_t es la deformación angular del resorte debido a la fuerza aplicada. Sustituyendo los valores numéricos de las variables anteriores se tiene que $D_i = 11.50 mm$.

El diámetro interior del resorte esta dado como $D_{mi} = 11.50 - d_a = 7.5 mm$. Lo anterior muestra que al operar el resorte nunca se amarrará con el eje (perno).

De acuerdo con [26], el diámetro del eje en la cual debe ensamblarse el resorte es 0.9 veces el valor del diámetro mínimo interno. Esto es, $D_{eje} = 0.9(7.5) = 6.75\text{mm}$ el cual no está muy alejado con el diámetro del perno seleccionado anteriormente (epígrafe 5.2.2).

La longitud máxima (L_{max}) del resorte, asumiendo que todas las espiras están en contacto, se determina con la siguiente ecuación:

$$L_{max} = d_a(N_{ea} + 1 + \theta_t) \quad (5.16)$$

Sustituyendo, se obtiene que $L_{max} = 25\text{ mm}$. Este valor corresponde cuando el resorte opera a la máxima capacidad. De acuerdo con el espacio disponible, 35 mm, sobra espacio suficiente. Entonces el resorte puede tener seis espiras las cuales ocuparían 29 mm. Para mayor detalle ver Anexo A.

5.4 Diseño del rodillo dosificador

El mecanismo dosificador es la parte más importante de la sembradora, pues debe descargar en forma ordenada una cierta cantidad de semillas, la cual debe ser constante e independiente del contenido de la tolva.

Las dimensiones del dosificador, específicamente la celda, están en función del tamaño de la semilla de maíz y de la cantidad de la misma a entregar. Generalmente los productores de maíz siembran por golpe de 2 a 3 semillas para evitar la resiembra.

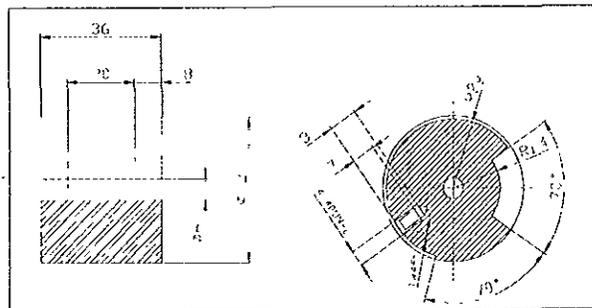


Figura 5.6: Rodillo dosificador (acot: mm).

Según la Tabla 2.1 y los resultados mostrados en la Tabla 3.1, la longitud máxima de las semillas varía entre 13 y 20 mm, si se considera que las semillas para siembra deben ser lo más uniforme posible, se puede tomar como máximo 20 mm. En cuanto al ancho de las semillas, éstos varían de 9 a 12 mm; se toma la cifra mayor a fin de englobar las demás cifras inferiores. Una vez hecho las consideraciones anteriores se procede a dimensionar la celda y el dosificador mismo.

Para diseñar la celda, consideremos una situación ideal en donde dos semillas caen en forma plana dentro de la celda una al lado de la otra. En consecuencia se tiene un ancho de 24 mm con 20 mm de largo, Figura 5.6. La profundidad de la celda se hace de acuerdo al grosor de la semilla que es de 7 mm (Tablas 2.1 y 3.1).

Por la irregularidad de la geometría y variedad de tamaños de las semillas, en caso de que caigan en forma de canto, definida por la longitud y el grosor, se dosifican de 3 a 4 semillas por golpe lo que satisface los requerimientos de siembra establecidos.

Las dimensiones generales del dosificador se muestra en la Figura 5.6. Como no se encuentra sometido a cargas considerables y además, para disminuir peso del dispositivo, el material para la fabricación será nylacero-6 (D638). En base a las dimensiones del dosificador se diseñan de forma funcional los otros componentes de éste sistema como son la placa corrediza, el soporte, la caja y el rasador de semillas. Para mayor detalle, ver Anexo A.

5.4.1 Eje del dosificador

En la figura 5.7 se muestran las dimensiones globales del eje del dosificador. El eje está sometido a tres solicitaciones: carga axial, carga transversal y momento torsor. La carga axial es causada por la resistencia (peso) que oponen las dos o tres semillas a ser dosificada y su valor es muy pequeño. La carga transversal es causada por el peso del dosificador que es de 60 gramos. Y el momento torsor está definido por la fuerza de torsión del resorte y la rapidez con que éste se suelta. Se considera que estas solicitaciones son muy pequeñas y no modifican el comportamiento mecánico del eje. Por lo tanto, el dimensionamiento se realiza tomando en cuenta los criterios de funcionalidad y no por resistencia. Para la construcción del eje se recomienda utilizar acero 1018 ANSI (Cold Rolled).

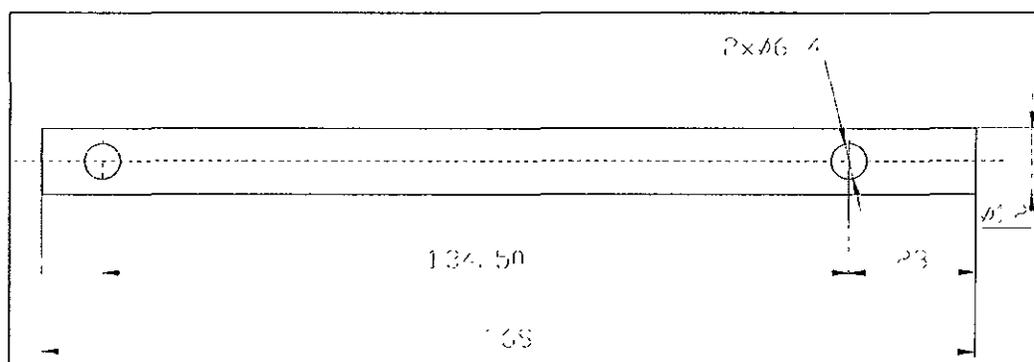


Figura 5.7: Eje del dosificador (acot: mm, 2:1).

5.4.2 Soporte-conductor

Este componente debe soportar el peso del eje, del dosificador y de la caja del dosificador y, además, debe servir para conducir las semillas hacia la punta. Según las dimensiones obtenidas en los cálculos anteriores, es posible obtener el peso total que debe soportar la estructura de soporte. En la Tabla 5.1 se muestran los valores de las masas de los elementos a soportar.

Tabla 5.1: Masas de los elementos a soportar.

Componente	Masa (kg)
Dosificador	0.042
Eje	0.062
Caja del dosificador	0.035
Masa total	0.139

El valor de la masa total es muy bajo, en consecuencia no se hace necesario un análisis estructural detallado; si no que se diseña de acuerdo a los criterios de funcionalidad y económico, de tal forma que su fabricación y costo sean lo más bajos. Según lo anterior, en la figura 5.8 se muestra el soporte-guía propuesto.

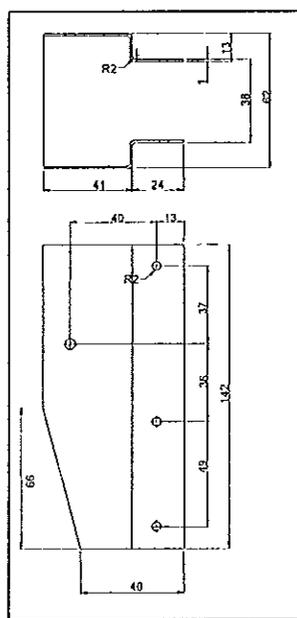


Figura 5.8: Dimensiones de soporte-guía (acot: mm).

El material a utilizar en la construcción de esta parte de la máquina será lámina galvanizada calibre 14.

El dimensionamiento de la placa del dosificador se realiza de acuerdo a las dimensiones de dosificador y por funcionalidad. Se diseña, de tal manera, que pueda ser deslizada sobre la superficie del dosificador al requerir mayor apertura la celda para entregar mayor número de semilla. Para que pueda sostenerse y deslizar se hace una ranura o corredera a la placa. La forma y las dimensiones de la ranura se confecciona según el criterio del diseñador.

En cuanto a la caja del dosificador, la placa de pared, el rasador de semillas y el sistema de apoyo se dimensionan considerando los principios de funcionalidad con respecto al dosificador y al soporte, y se especifican con mayor detalle en el Anexo A.

5.4.3 Tolva

La tolva es el recipiente que contiene las semillas. Las dimensiones se establecen considerando la cantidad de semilla a transportar y de acuerdo a las características mecánicas de la misma (ángulo de reposo). Consideremos el sistema de Labranza de Conservación[27] en donde la distancia de siembra es de 25 cm entre plantas y de 2 semillas por golpe. Bajo esta restricción, si el sembrador tiene un terreno de 100 m largo con 100 m de ancho (1 ha.), en un surco de ida (de 100 m) coloca 800 semillas en el suelo y de regreso coloca la misma cantidad.

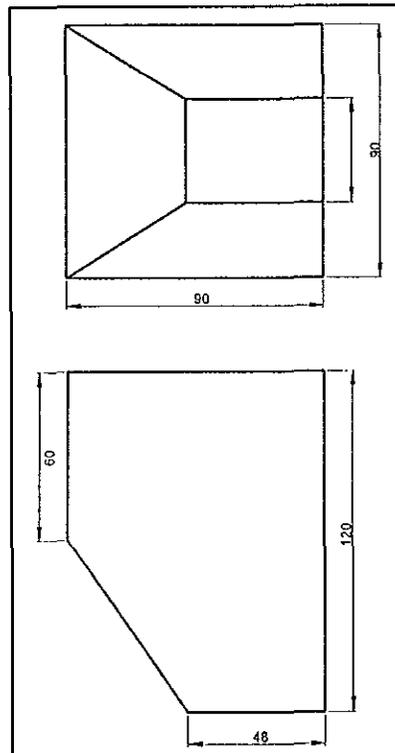


Figura 5.9: Tolva de alimentación (acot: mm).

Lo anterior da un total de 1600 semillas y si siembra otro surco, se tiene en total 2400 semillas. A esta cantidad se le agrega un 10% para que al terminar los tres surcos siempre existan semillas en la tolva lo que da un total de 2460 semillas con un peso de 850 gramos. Por consiguiente, la tolva se diseña para contener ésta cantidad y peso de semillas.

Para el caso del sistema de producción Roza-tumba-quema, la distancia de siembra varía de 50 a 100 cm y se colocan por golpe, generalmente, de 4 a 5 semillas (Epígrafe 2.2). Por lo tanto, se pueden sembrar de 10 a 20 surcos antes de llenar nuevamente la tolva.

Del análisis anterior, el sembrador debe colocar el bulto de semillas en la orilla del terreno de siembra. Sembrar dos o tres surcos, según considere, y cuando observe que se está terminando la semilla debe llenar la tolva.

Según los datos agrotécnicos de las semillas Tablas 2.2 y 2.3, el ángulo de reposo de la semilla de maíz varía de 29° a 31° . Por lo que, para que exista un flujo continuo de semillas sobre las paredes de la tolva y no ocurran atascamientos, el ángulo de las paredes de la tolva se toma superior al ángulo de reposo y es de 55° para nuestro caso. Se asume adecuado que la parte superior sea cuadrada y en la parte inferior tenga una forma triangular (Figura 5.8).

Para la fabricación de la tolva se elige como material lámina galvanizada calibre 12. Consta de cuatro partes. Cada una de ellas se corta con la cizalla y soldan para formar la tolva.

Capítulo 6

Síntesis del mecanismo de dosificación y depositación

6.1 Introducción

En éste capítulo se realiza la modelación matemática para la síntesis dimensional del mecanismo de dosificación y depositación de la sembradora portátil. Lo anterior permitirá establecer las longitudes y desplazamientos angulares de los eslabones, analizar la funcionalidad y la influencia de los parámetros de diseño antes de proceder a la construcción de los mismos.

Para la modelación matemática de las rotaciones de los cuerpos rígidos en la síntesis dimensional, tradicionalmente se han utilizado el álgebra de los números complejos y transformaciones matriciales[28]. Los números complejos sólo operan en \mathbb{R}^2 esto indica que únicamente se pueden modelar mecanismos planos. En el caso de las transformaciones matriciales, su formulación es fácil y eficiente en la manipulación computacional, pero son altamente redundantes. Se requieren 9 parámetros para representar la orientación de un cuerpo rígido para las matrices ortogonales. Esta redundancia puede introducir problemas numéricos, desperdiciar espacio y, amenudo, aumenta el costo computacional de algoritmos.

En este trabajo se presenta una representación alternativa de las rotaciones con cuaterniones. Estos se han utilizado para modelar rotaciones de cuerpos rígidos. El álgebra de cuaterniones opera en \mathbb{R}^2 y \mathbb{R}^3 , por lo que se pueden modelar mecanismos planos y espaciales; ofrecen ventajas en términos de robustez numérica, eficiencia de espacio y permiten definir el eje de rotación de cada uno de los elementos del mecanismo.

En lo que sigue, se hace una breve revisión de algunos conceptos de la síntesis cinemática de mecanismos y algunas propiedades de los cuaterniones, los cuales son importantes para realizar la modelación del mecanismo en referencia.

6.2 Generalidades de la síntesis cinemática

La síntesis cinemática es el proceso de diseñar mecanismos para realizar una tarea deseada tales como transferir un movimiento de una fuente de potencia a una salida de manera prescrita.

La síntesis cinemática se clasifica en tres diferentes fases muy relacionados con el proceso de diseño[29]. La primera fase, llamada síntesis de tipo, consiste en la selección del tipo de mecanismo más adecuado que cumpla con los requerimientos de diseño. Es decir, se elige el tipo de eslabones o unidades constructivas como cuerpos, juntas, levas, engranes, bandas, etc.

La segunda fase se le denomina síntesis de número, que consiste en determinar el número de cuerpos (eslabones) y el número más apropiado y el tipo de juntas cinemáticas que el mecanismo debe tener para obtener un número de entradas independientes (grados de libertad).

La última fase, síntesis dimensional, consiste en el cálculo y selección de los valores más apropiados para todos los parámetros geométricos y dimensionales (longitudinales y angulares) del mecanismo para cumplir los requerimientos impuestos por el diseñador o para obtener un diseño óptimo. La síntesis dimensional de mecanismos aborda tres principales tipos problemas de síntesis cinemática, según sus características[30, 31]:

Generación de función. El objetivo de este tipo de síntesis es diseñar un mecanismo de tal manera que exista una correlación entre una función de entrada y una función de salida. Esto es, dada la función $\varphi = f(\phi)$, se calcula una serie de valores de φ que correspondan a una serie de valores elegidos de ϕ , y según sean estos valores, se determinan los parámetros (dimensiones y ángulos) del mecanismo.

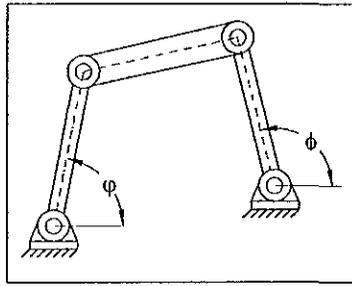


Figura 6.1: Generación de función para síntesis.

Generación de trayectoria. Consiste en diseñar un mecanismo que conduzca un punto del eslabón acoplador a lo largo de una trayectoria definida por un número determinado de puntos de precisión. Los puntos o posiciones de precisión son los puntos prescritos para ubicaciones sucesivas del eslabón de salida en el plano.

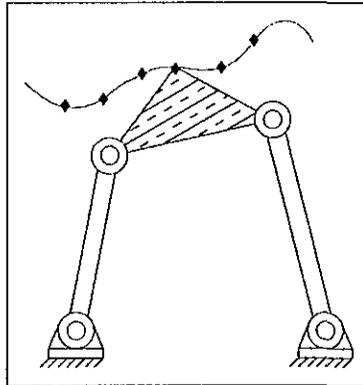


Figura 6.2: Síntesis de generación de trayectoria.

Conducción de cuerpo rígido. El problema que se presenta en este caso, consiste en establecer las dimensiones de los eslabones del mecanismo que conduzca un cuerpo rígido a través de posiciones previamente especificadas, según la función a desempeñar por parte del sistema mecánico.

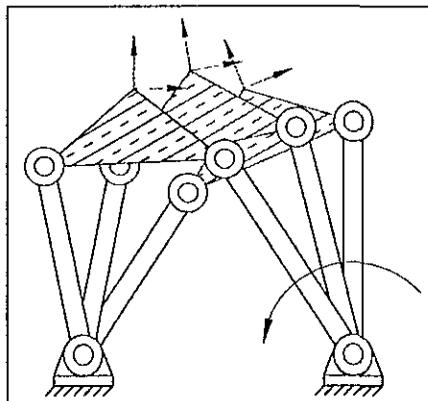


Figura 6.3: Síntesis para conducción de cuerpo rígido.

6.3 Cuaterniones

Los *cuaterniones* fueron inventados por el matemático Sir Willian R. Hamilton en 1843 como una extensión de los números complejos al espacio tridimensional. En los últimos años se han utilizado, entre otras cosas, para representar en forma paramétrica rotaciones de cuerpos rígidos y deformables tales como mecanismos robóticos, placas y cascarones, y diferentes aplicaciones aeroespaciales[32].

Ahora procederemos a definir lo que es un *cuaternión*. Como es usual en la matemática elemental, sea \mathbb{R} que denota el campo de los números reales. Y Sea \mathbb{Q} un espacio vectorial 4-dimensional sobre \mathbb{R} con una base ordenada ortogonal denotada por \underline{e}_i $\{\underline{e}_0, \underline{e}_1, \underline{e}_2, \underline{e}_3\}$, en donde $\underline{e}_0 = (1, 0, 0, 0)$, $\underline{e}_1 = (0, 1, 0, 0)$, $\underline{e}_2 = (0, 0, 1, 0)$ y $\underline{e}_3 = (0, 0, 0, 1)$.

Definición 1. Un *cuaternión real cualesquiera* \mathbf{p} o simplemente llamado *cuaternión* es un vector

$$\mathbf{p} = p_0\underline{e}_0 + p_1\underline{e}_1 + p_2\underline{e}_2 + p_3\underline{e}_3 \in \mathbb{Q} \quad (6.1)$$

con coeficientes $p_0, p_1, p_2, p_3 \in \mathbb{R}$.

También un cuaternión \mathbf{p} se puede definir como un elemento de \mathbb{Q} constituido por cuatro elementos (p_0, p_1, p_2, p_3) que representan las coordenadas del mismo en la base dada. En la literatura es frecuente encontrar que la parte p_0 del cuaternión \mathbf{p} se le denomina *parte escalar* y (p_1, p_2, p_3) *parte vectorial*. Por lo tanto, un cuaternión $\mathbf{p} \in \mathbb{Q}$ se puede representar como

$$\begin{aligned} \mathbf{p} &= (p_0, p_1, p_2, p_3) \\ \mathbf{p} &= (p_0, p_v), \forall p_0, p_1, p_2, p_3 \in \mathbb{R}, \forall p_v \in \mathbb{R}^3 \text{ y } \mathbf{p} \in \mathbb{Q} \end{aligned} \quad (6.2)$$

Si $p_0 = 0$, p_v se le llama *cuaternión vectorial* (\mathbb{Q}_v), y cuando $p_v = 0$ es llamado *cuaternión escalar* (\mathbb{Q}_r). Por consiguiente, los vectores y los escalares son cuaterniones, y son elementos de éstos. La mejor notación, ecuaciones (6.1) y (6.2), depende del problema en consideración. En este trabajo utilizaremos, con mayor frecuencia, la notación de la ecuación (6.2).

Para definir cómo rota un cuerpo rígido usando un *cuaternión unitario*, es necesario revisar algunos conceptos matemáticos a sociado a los *cuaterniones*. Para el propósito de ésta sección es importante entender la propiedad multiplicativa y cómo, mediante ésta última, se representa la rotación de cuerpos rígidos.

Para lo anterior, definamos en $\mathbb{Q} \in \mathbb{R}^4$ una operación binaria interna (es decir, que los elementos que intervienen en la operación pertenecen al conjunto \mathbb{R}^4), que llamaremos suma $\oplus : \mathbb{R}^4 \times \mathbb{R}^4 \rightarrow \mathbb{R}^4$ y una operación de producto $\otimes : \mathbb{R}^4 \times \mathbb{R}^4 \rightarrow \mathbb{R}^4$.

Sean entonces $\mathbf{p}, \mathbf{q} \in \mathbb{Q}$ dos *cuaterniones* definidos como:

$$\mathbf{p} = (p_0, p_1, p_2, p_3), \text{ y } \mathbf{q} = (q_0, q_1, q_2, q_3), \forall \mathbf{p}, \mathbf{q} \in \mathbb{Q}$$

A. Operación aditiva, $\oplus : \mathbb{R}^4 \times \mathbb{R}^4 \rightarrow \mathbb{R}^4$.

La adición de dos *cuaterniones* \mathbf{p} y \mathbf{q} esta definida como:

$$\begin{aligned} \mathbf{p} \oplus \mathbf{q} &= (p_0, p_1, p_2, p_3) \oplus (q_0, q_1, q_2, q_3) \\ &= (p_0 + q_0, p_1 + q_1, p_2 + q_2, p_3 + q_3) \end{aligned} \quad (6.3)$$

Como podemos deducir, ésta operación obedece las propiedades ordinarias del álgebra elemental en cuanto a la adición y sustracción en \mathbb{R}^4 , y además es un grupo aditivo conmutativo y asociativo.

B. Operación multiplicativa, $\otimes : \mathbb{R}^4 \times \mathbb{R}^4 \rightarrow \mathbb{R}^4$.

El producto de dos *cuaterniones* \mathbf{p} y \mathbf{q} se obtiene mediante la multiplicación cíclica de los elementos de la base como en el álgebra ordinario, excepto que el orden de las unidades se preserva. Esto es, si se recorre un círculo en el sentido de las manecillas del reloj el producto de cualquier par de elementos sucesivos es el que sigue, y al recorrerse en sentido opuesto al del reloj se obtienen los negativos, como se muestra a continuación.

$$\begin{aligned} \mathbf{e}_1 \otimes \mathbf{e}_1 &= \mathbf{e}_2 \otimes \mathbf{e}_2 = \mathbf{e}_3 \otimes \mathbf{e}_3 = -1; \\ \mathbf{e}_1 \otimes \mathbf{e}_2 &= \mathbf{e}_3, \mathbf{e}_2 \otimes \mathbf{e}_3 = \mathbf{e}_1, \mathbf{e}_3 \otimes \mathbf{e}_1 = \mathbf{e}_2; \\ \mathbf{e}_2 \otimes \mathbf{e}_1 &= -\mathbf{e}_3, \mathbf{e}_3 \otimes \mathbf{e}_2 = -\mathbf{e}_1, \mathbf{e}_1 \otimes \mathbf{e}_3 = -\mathbf{e}_2. \end{aligned}$$

Con estas reglas del producto de los elementos de la base se puede expresar el producto de cualquier par de *cuaterniones* como:

$$\begin{aligned} \mathbf{p} \otimes \mathbf{q} &= (p_0, p_1, p_2, p_3) \otimes (q_0, q_1, q_2, q_3) \\ &= (p_0q_0 - p_1q_1 - p_2q_2 - p_3q_3, p_0q_1 + q_0p_1 + p_2q_3 - p_3q_2, \\ &\quad p_0q_2 + q_0p_2 + p_3q_2 - p_1q_3, p_0q_3 + q_0p_3 + p_1q_2 - p_2q_2) \\ &= (p_0q_0 - p_vq_v, p_0q_v + q_0p_v + p_v \times q_v) \end{aligned} \quad (6.4)$$

La multiplicación, ecuación (6.4), no es conmutativa, pero si es asociativa.

C. Conjugado, norma e inversa.

El conjugado \bar{p} de un cuaternión p , de forma similar como en los números complejos, se define como *un cuaternión con la parte vectorial negativa*

$$\begin{aligned}\bar{p} &= (p_0, -p_1, -p_2, -p_3) \\ &= (p_0, -p_v)\end{aligned}\quad (6.5)$$

La norma $\|p\|$ de un cuaternión p se define como la raíz cuadrada del producto de p por sí mismo

$$\|p\| = \langle p, p \rangle = \sqrt{p_0^2 + p_1^2 + p_2^2 + p_3^2}\quad (6.6)$$

Si $\|p\| = 1$, el cuaternión p se le llama *cuaternión unitario*.

La inversa p^{-1} del cuaternión p esta definido por la condición

$$p \otimes p^{-1} = p^{-1} \otimes p = 1$$

Por lo tanto, para un cuaternión unitario tenemos que

$$p^{-1} = \frac{\bar{p}}{\|p\|}\quad (6.7)$$

6.3.1 Rotación con cuaterniones

Ahora vamos a definir con la ecuación (6.4) una transformación lineal $\rho(p, \bullet) : \mathbb{R}^4 \rightarrow \mathbb{R}^4$ con $p \in \mathbb{R}^4$ fijo la cual es lineal, ortogonal y de determinante positivo, siendo así una rotación. Una transformación, $\rho(p, \bullet) : \mathbb{R}^4 \rightarrow \mathbb{R}^4$ con $p \in \mathbb{R}^4$ fijo, para cualesquiera $r \in \mathbb{Q}_v$ se define como[33]:

$$\rho(p, r) = \frac{1}{\|p\|^2} \bullet \{p \otimes r \otimes \bar{p}\}, \forall p \in \mathbb{Q} \text{ y } \forall r \in \mathbb{Q}_v\quad (6.8)$$

Como $\|p\| = 1$, la transformación realizada por la ecuación (6.8) no cambia la magnitud de $r \in \mathbb{Q}_v$ pero si la orientación. Así:

$$\rho(p, r) = \{p \otimes r \otimes \bar{p}\}\quad (6.9)$$

Ahora vamos a determinar los componentes del cuaternión p que parametriza la rotación denotada por la ecuación (6.8).

La forma de definir la orientación de un cuerpo rígido con un cuaternión es considerando el teorema de Euler el cual establece que *la orientación de cuerpo rígido se puede describir como una rotación alrededor de un eje (p_v) y un ángulo (θ) dados.*

Entonces, sean $\mathbf{p} \in \mathbb{Q}$ un vector unitario rotacional y $\mathbf{r}_0 \in \mathbb{Q}_v$ espacial unitario perpendicular a \mathbf{p} . Después de un instante \mathbf{r}_0 ha sido rotado por \mathbf{p} mediante un ángulo θ y ahora es \mathbf{r} . Durante la rotación, el vector \mathbf{p} rotacional no cambia, por lo que éste es un eigenvector de la rotación con eigenvalor $\lambda = 1$. Es decir,

$$\begin{aligned} (p_0, p_v) \otimes (0, p_v) \otimes (p_0, -p_v) &= (p_0^2 + p_v p_v)(p_0, p_v) \\ &= (0, p_v) \end{aligned} \quad (6.9)$$

Lo que demuestra que \mathbf{p} es paralelo al eje de rotación $\hat{\mathbf{u}}$. Por otra parte, como $\mathbf{r} \perp \mathbf{p}$ se tiene que

$$\begin{aligned} \langle \mathbf{r}, \mathbf{r} \rangle &= 1 \\ \langle \mathbf{r}, \mathbf{p} \rangle &= 0 \end{aligned} \quad (6.10)$$

Por análisis vectorial elemental, el coseno del ángulo entre dos vectores está dado por el producto punto de \mathbf{r}_0 y \mathbf{r} . Entoces si $\mathbf{r}_0 = \bar{\mathbf{p}} \otimes \mathbf{r} \otimes \mathbf{p}$ y $\mathbf{r} = \mathbf{p} \otimes \mathbf{r}_0 \otimes \bar{\mathbf{p}}$, tenemos

$$\begin{aligned} (\mathbf{r}_0 \bullet \mathbf{r}) &= (\bar{\mathbf{p}} \otimes \mathbf{r} \otimes \mathbf{p}) \bullet (\mathbf{p} \otimes \mathbf{r}_0 \otimes \bar{\mathbf{p}}) \\ \|\mathbf{r}_0\| \|\mathbf{r}\| \cos\theta &= (\mathbf{r}_0 \bullet \mathbf{r}) \otimes (\mathbf{p} \bullet \bar{\mathbf{p}}) \end{aligned} \quad (6.11)$$

Como al rotar \mathbf{r}_0 no cambia su magnitud, entonces $\|\mathbf{r}_0\| = \|\mathbf{r}\|$. Por lo tanto

$$\cos\theta = p_0^2 - \langle p_v, p_v \rangle \quad (6.12)$$

Para el caso del seno del ángulo, éste está dado por triple producto de \mathbf{r}_0 y \mathbf{r} y p_v (vector unitario en la dirección del eje de rotación). Entonces

$$\begin{aligned} (\mathbf{r}_0 \otimes \mathbf{r}) \bullet (0, p_v) &= (\bar{\mathbf{p}} \otimes \mathbf{r} \otimes \mathbf{p}) \bullet (\mathbf{p} \otimes \mathbf{r}_0 \otimes \bar{\mathbf{p}}) \bullet (0, p_v) \\ \|\mathbf{r}_0 \otimes \mathbf{r}\| \|\langle 0, p_v \rangle\| \sin\theta &= (\mathbf{r}_0 \otimes \mathbf{r}) \otimes (\mathbf{p} \otimes \bar{\mathbf{p}}) \bullet (0, p_v) \\ \sin\theta &= (\mathbf{p} \otimes \bar{\mathbf{p}}) \bullet (0, p_v) \\ &= 2p_0 \|p_v\| \end{aligned} \quad (6.13)$$

Finalmente, sabiendo que $p_0^2 + \langle p_v, p_v \rangle = 1$ y utilizando algunas identidades trigonométricas para ángulos múltiples, obtenemos que

$$\begin{aligned} p_0 &= \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \\ p_v &= \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)\hat{\mathbf{u}} \end{aligned} \quad (6.14)$$

donde $\hat{\mathbf{u}}$ es un vector unitario paralelo al eje de rotación. Por lo tanto, una rotación alrededor de un eje paralelo al vector unitario puede ser representado por un *cuaternión unitario*

$$\mathbf{p} = \left(\cos\frac{\theta}{2}, \sin\frac{\theta}{2}\hat{\mathbf{u}}\right) \quad (6.15)$$

Si consideramos que el vector $\hat{\mathbf{u}} = \hat{\mathbf{u}}_i \underline{\mathbf{e}}_i$, donde $\underline{\mathbf{e}}_i$ es la base ortonormal de \mathbb{R}^4 , entonces

$$\begin{aligned} p_0 &= (\cos \frac{\theta}{2}, 0, 0, 0); & p_v &= (0, \text{sen} \frac{\theta}{2} \hat{\mathbf{u}}_1, \text{sen} \frac{\theta}{2} \hat{\mathbf{u}}_2, \text{sen} \frac{\theta}{2} \hat{\mathbf{u}}_3) \\ \mathbf{p} &= (p_0, p_1, p_2, p_3) = (\cos \frac{\theta}{2}, \text{sen} \frac{\theta}{2} \hat{\mathbf{u}}_1, \text{sen} \frac{\theta}{2} \hat{\mathbf{u}}_2, \text{sen} \frac{\theta}{2} \hat{\mathbf{u}}_3) \end{aligned} \quad (6.16)$$

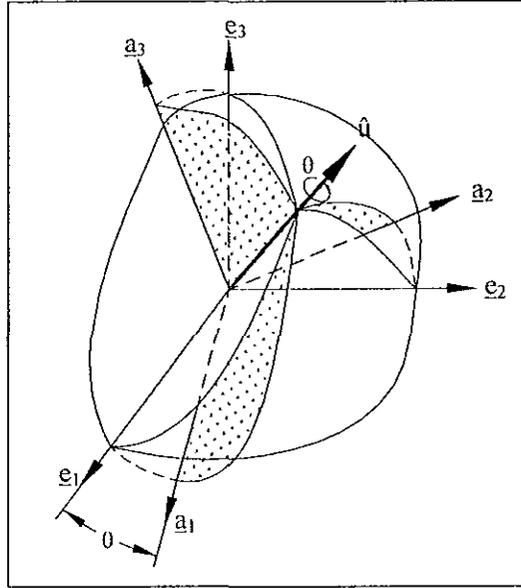


Figura 6.4: Rotación de la base $\underline{\mathbf{a}}_i$.

Por lo tanto, de la figura 6.4, observamos que

$$\underline{\mathbf{a}}_i = \rho(\mathbf{p}, \underline{\mathbf{e}}_i) = \{\mathbf{p} \otimes \underline{\mathbf{e}}_i \otimes \bar{\mathbf{p}}\} \quad (6.17)$$

donde $i = 1, 2, 3$. Así, se puede expresar cualquier vector definido en una base cualesquiera $\underline{\mathbf{a}}_i$ con respecto a $\underline{\mathbf{e}}_i$ aplicando la ecuación (6.17).

Si $\hat{\mathbf{u}}$ es paralelo a cualquiera de los ejes del sistema inercial $\underline{\mathbf{e}}_i$, se obtienen las diferentes rotaciones alrededor de los mismos; éstas son muy importantes en las modelaciones de las rotaciones ya que con ellas se pueden establecer directamente los ejes de rotación.

6.3.2 Composición de rotaciones

El movimiento de rotación del eslabón de un mecanismo o de un robot, de una posición inicial a una final, es una serie de rotaciones sucesivas. Para modelar éstas rotaciones con cuaterniones, sea $\underline{\mathbf{e}}_i$ la base inercial y sean $\underline{\mathbf{a}}_i, \underline{\mathbf{b}}_i$ y $\underline{\mathbf{c}}_i$ las bases móviles en la primera, segunda y tercera posiciones las cuales pueden estar asociadas con un vector dado.

La base \underline{a}_i en la primera posición se puede expresar, de acuerdo con la ecuación (6.17), con respecto a la base inercia \underline{e}_i de la siguiente manera:

$$\underline{a}_i = \rho(p1, \underline{e}_i) = p1 \otimes \underline{e}_i \otimes \overline{p1} \quad (6.18)$$

donde $p1$ es el cuaternion que rota la base \underline{a}_i a la base \underline{e}_i con eje de rotación \hat{u} .

Ahora, la base \underline{b}_i en la segunda posición se expresa con respecto a la base \underline{a}_i como

$$\underline{b}_i = \rho(p2, \underline{a}_i) \quad (6.19)$$

En éste caso, $p2$ es el quaternion que rota \underline{a}_i y está expresado en la misma base. Se necesita que \underline{b}_i sea expresada en \underline{e}_i . Entonces sustituyendo (6.18 en (6.19), se obtiene que

$$\begin{aligned} \underline{b}_i &= \rho(p2, \rho(p1, \underline{e}_i)) \\ &= p2 \otimes p1 \otimes \underline{e}_i \otimes \overline{p1} \otimes p2 \end{aligned} \quad (6.20)$$

Y por último, para la tercera posición se requiere expresar \underline{c}_i con respecto a \underline{b}_i . Esto es,

$$\underline{c}_i = \rho(p3, \underline{b}_i) \quad (6.21)$$

Sustituyendo 6.19 y 6.18 en (6.21), y haciendo las multiplicaciones respectivas obtenemos la expresión

$$\begin{aligned} \underline{c}_i &= \rho(p3, \rho(p2, \rho(p1, \underline{e}_i))) \\ &= p3 \otimes p2 \otimes p1 \otimes \underline{e}_i \otimes \overline{p1} \otimes p2 \otimes p3 \end{aligned} \quad (6.22)$$

Segun las ecuaciones (6.20) y (6.22), la composición de rotaciones con cuaterniones es muy sencilla ya que solo se multiplican entre sí. A fin de eficientar los cálculos computacionales es posible referir todas las bases o posiciones necesarias en análisis de un mecanismo dado en la primera posición. Por consiguiente, para \underline{c}_i se tiene

$$\begin{aligned} \underline{c}_i &= \rho(p3, \underline{a}_i) \\ &= \rho(p3, \rho(p1, \underline{e}_i)) \\ &= p3 \otimes p1 \otimes \underline{e}_i \otimes \overline{p1} \otimes p3 \end{aligned} \quad (6.23)$$

6.4 Descripción del mecanismo

En el capítulo 3 se conceptualizó el mecanismo de dosificación y depositación de semillas de la sembradora portátil. Esto es, se eligieron el número de eslabones y tipos de juntas rotacionales para su formulación. Esta parte corresponde a la *síntesis de tipo y de número* (Epígrafe 6.2). En esta sección se hace la descripción, se establecen los parámetros prescritos y las variables a determinar (ángulos y dimensiones de los eslabones) del mecanismo.

La figura 6.5 muestra el esquema del mecanismo. Consta de 7 pares cinemáticos rotacionales, 5 eslabones y tres pivotes fijos O_1 , O_2 y O_3 . Y tiene un grado de movilidad, ya que existe una sola fuente motriz (fuerza aplicada al soporte) para el movimiento. Por condiciones de diseño y funcionalidad las coordenadas de los pivotes son conocidas. Además, la distancia O_1z_0 (cuchilla) también es conocida por diseño realizado en el capítulo 5.

Por diseño conceptual los eslabones (Figura 6.5) l_8 y l_4 constituyen un solo cuerpo rígido, y lo mismo ocurre con los eslabones l_2 y l_0 . Por lo tanto, las rotaciones que realizan l_4 y l_2 están en función de las rotaciones de l_8 y l_0 solo varían en sus posiciones angulares iniciales. En la tabla 6.1 se muestra la topología del mecanismo.

Tabla 6.1: Topología del mecanismo.

Eslabones	Origen	Final
l_6	O_1	D
l_7	D	C
l_8	C	O_2
l_4	O_2	B
l_3	B	A
l_2	O_3	A
l_0	O_3	Z_0

Al ser aplicada la fuerza (F) por parte del soporte sobre el eslabón l_2 (motriz), éste gira con respecto al pivote O_3 haciendo que la cuchilla tenga un desplazamiento angular (γ). De acuerdo con el capítulo 5, el valor numérico de este desplazamiento debe ser de 12° , dado que con ello sale perfectamente la semilla. Al mismo tiempo, los eslabones l_3 , l_4 , l_8 y l_7 transmiten el movimiento de giro hacia el eslabón l_6 (salida). Este último, por condiciones de funcionalidad, debe rotar $125^\circ(\theta)$ para poder seleccionar y, al regresar, dosificar la semilla.

De acuerdo con la descripción anterior, el problema de síntesis dimensional corresponde a la de Generación de funciones (entrada-salida) ya que se proporcionan los desplazamientos angulares γ y θ del eslabón (cuchilla) motriz y del eslabón (l_6) de salida, respectivamente. Y a partir de estos valores numéricos determinar las longitudes y desplazamientos angulares de los eslabones l_2 , l_3 , l_4 , l_8 , l_7 , y l_6 del mecanismo.

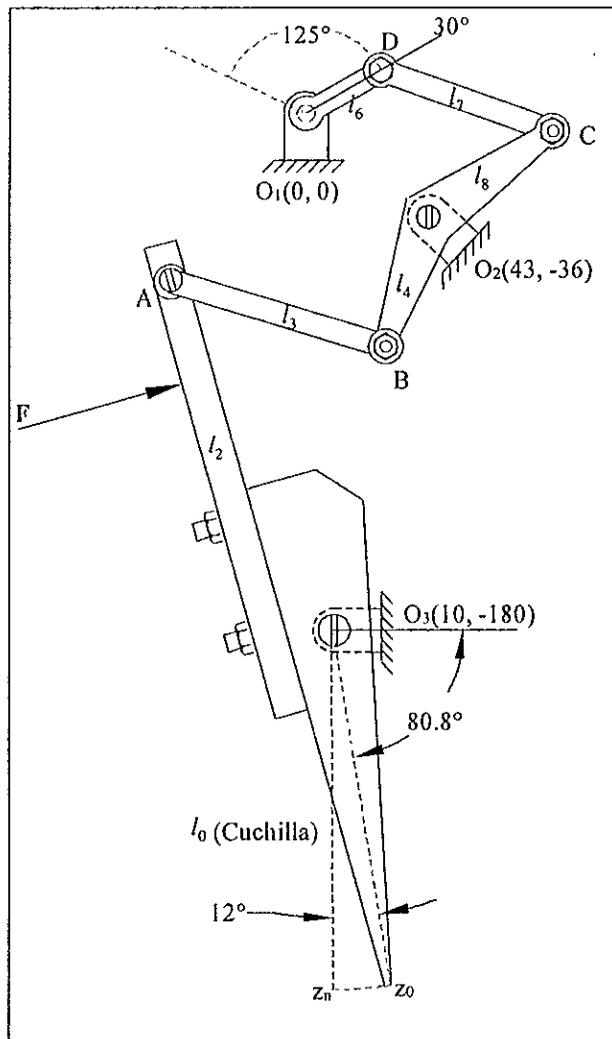


Figura 6.5: Esquema del mecanismo.

En la *síntesis dimensional* de mecanismos (Epígrafe 6.2) existen dos herramientas principales gráficas y analíticas. Entre los últimos están métodos algebraicos, matriciales y números complejos. En éste trabajo utilizaremos un método analítico-algebraico a fin de simular el funcionamiento del mecanismo. Para ello usaremos el método de síntesis de Bloch[34] el cual se basa en la formulación de ecuaciones de cierre de lazos vectoriales. Solo que en éste los vectores estarán en función de las rotaciones con cuaterniones.

6.5 Modelación del mecanismo

Antes de iniciar la modelación de la *síntesis dimensional* del mecanismo es necesario establecer un *sistema de referencia* en el cual se definen las características de movimiento y dimensionales del mismo. El sistema está determinado por un punto del espacio físico (origen) y una base hortonormal de *cuaterniones* los cuales definen un sistema de *coordenadas cartesianas*. El sistema se llama global o inercial si se mantiene sin cambios. Base local o móvil si rota con algún elemento del mecanismo.

Una vez que hemos dado las consideraciones anteriores, procedemos a la modelación de la *síntesis dimensional*.

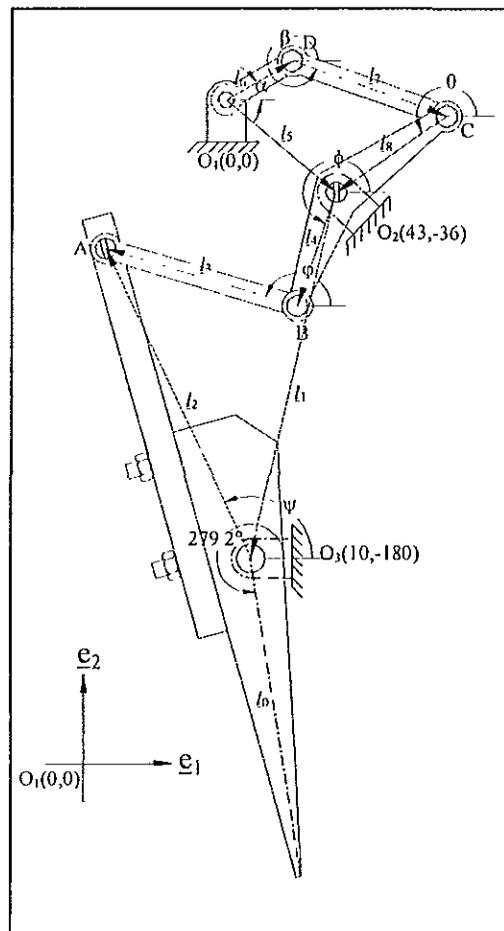


Figura 6.6: Parámetros del mecanismo.

Para el mecanismo en análisis, sea e_i ($i = 1, 2, 3$) la base inercial localizado sobre el pivote de articulación O_1 y el eslabón l_6 . El sentido de la rotación se establece considerando como criterio el de las manecillas del reloj, positiva en el sentido contrario desde el eje x y negativa en sentido de las manecillas (Figura 6.6).

Para construir las ecuaciones vectoriales de síntesis que gobiernan al mecanismo, consideremos éste en la posición inicial (figura 6.5). Analizando el esquema identificamos dos lazos cerrados $\mathbf{O}_1\mathbf{DCO}_2\mathbf{O}_1$ y $\mathbf{O}_2\mathbf{BAO}_3\mathbf{O}_2$. Asociemos a cada eslabón un vector los cuales rotan conjuntamente al momento de la operación. Los vectores asociados se definen de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \underline{l}_6 &= \mathbf{O}_1\mathbf{D}; \underline{l}_7 = \mathbf{DC}; \underline{l}_8 = \mathbf{CO}_2; \\ \underline{l}_5 &= \mathbf{O}_1\mathbf{O}_2; \underline{l}_4 = \mathbf{O}_2\mathbf{B}; \underline{l}_3 = \mathbf{BA}; \\ \underline{l}_2 &= \mathbf{O}_3\mathbf{A}; \underline{l}_1 = \mathbf{O}_2\mathbf{O}_3. \end{aligned}$$

Así, las ecuaciones de lazos vectoriales que caracterizan el mecanismo en la posición inicial están dadas como:

$$\underline{l}_6 + \underline{l}_7 + \underline{l}_8 - \underline{l}_5 = 0 \quad (6.24)$$

$$\underline{l}_4 + \underline{l}_3 - \underline{l}_2 - \underline{l}_1 = 0 \quad (6.25)$$

Para referir la posición angular de los eslabones con respecto a la base inercial \underline{e}_i definamos una base móvil o del cuerpo en cada eslabón, a saber, $\underline{a}_{ij} \in \mathbb{R}^4$ ($i = 1, 2, 3; j = 1, 2, 3, 4, 5, 6$) con origen en cada junta rotacional de los eslabones, respectivamente (Figura 6.7). Estas se colocan rígidamente y orientados sobre el eje longitudinal, y rotan junto con el eslabón correspondiente como si formara parte de éste[35].

Las ecuaciones (6.24) y (6.25) se pueden expresar como una combinación lineal, en función de las bases locales, de la siguiente manera:

$$l_6 \underline{a}_{11} + l_7 \underline{a}_{12} + l_8 \underline{a}_{13} - l_5 = 0 \quad (6.26)$$

$$l_4 \underline{a}_{14} + l_3 \underline{a}_{15} - l_2 \underline{a}_{16} - l_1 = 0 \quad (6.27)$$

$$\forall l_6, l_7, l_8, l_5, l_4, l_3, l_2, l_1 \in \mathbb{R}.$$

Cada base móvil local \underline{a}_{ij} se considera alineado en un principio con la base inercial \underline{e}_i con un eje de rotación común $\underline{e}_3 = (0, 0, 0, 1)$. Al ser rotado un eslabón cualesquiera con una base asociada se genera un ángulo el cual tiene relacionado con un *cuaternión* dado. Por consiguiente, cada base móvil representa una rotación con respecto a \underline{e}_i definida por la transformación $\rho(p, \bullet) : \mathbb{R}^4 \rightarrow \mathbb{R}^4$ (ecuación 6.9). Así las base locales se denotan de la siguiente forma:

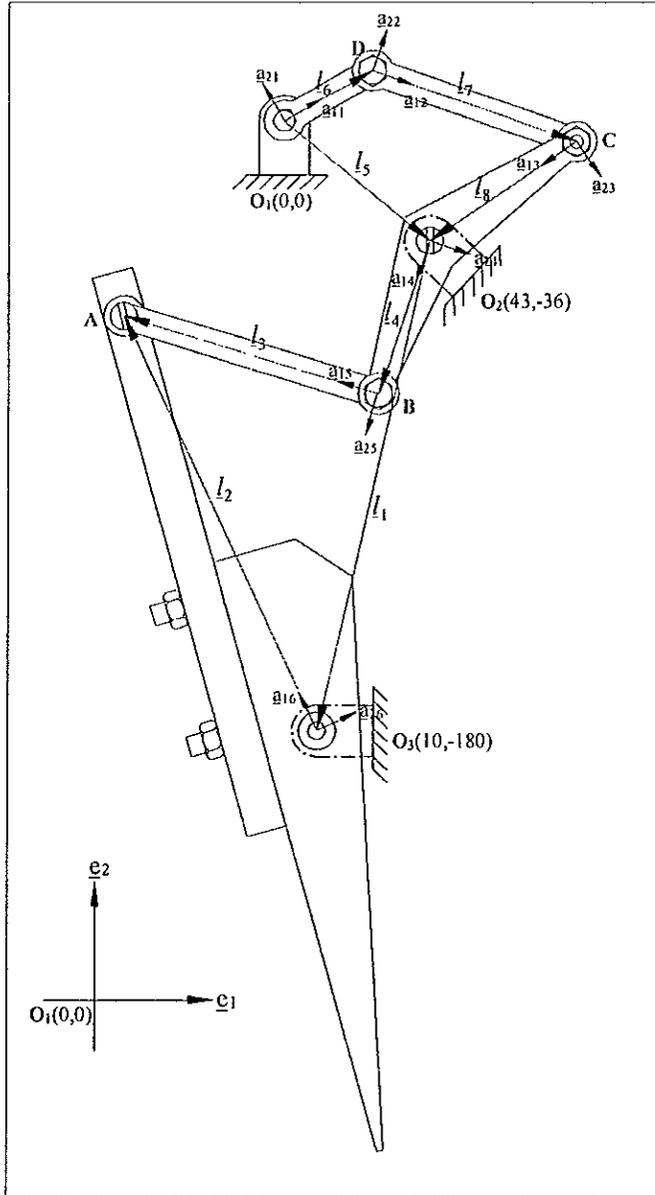


Figura 6.7: Bases locales en las juntas rotacionales.

$$\underline{a}_{11} = \rho(\underline{p1}, \underline{e}_1) = \underline{p1} \otimes \underline{e}_1 \otimes \overline{\underline{p1}}$$

$$\underline{a}_{12} = \rho(\underline{q1}, \underline{e}_1) = \underline{q1} \otimes \underline{e}_1 \otimes \overline{\underline{q1}}$$

$$\underline{a}_{13} = \rho(\underline{r1}, \underline{e}_1) = \underline{r1} \otimes \underline{e}_1 \otimes \overline{\underline{r1}}$$

$$\underline{a}_{14} = \rho(\underline{s1}, \rho(\underline{r1}, \underline{e}_1)) = \underline{s1} \otimes \underline{r1} \otimes \underline{e}_1 \otimes \overline{\underline{r1} \otimes \underline{s1}}$$

$$\underline{a}_{15} = \rho(\underline{t1}, \underline{e}_1) = \underline{t1} \otimes \underline{e}_1 \otimes \overline{\underline{t1}}$$

$$\underline{a}_{16} = \rho(\underline{u1}, \underline{e}_1) = \underline{u1} \otimes \underline{e}_1 \otimes \overline{\underline{u1}}$$

De esta manera, sustituyendo las bases locales anteriores, se tienen las ecuaciones (6.18) y (6.19) en términos de la base inercial:

$$l_6\rho(\mathbf{p1}, \underline{\mathbf{e}}_1) + l_7\rho(\mathbf{q1}, \underline{\mathbf{e}}_1) + l_8\rho(\mathbf{r1}, \underline{\mathbf{e}}_1) - l_5 = 0 \quad (6.28)$$

$$l_4\rho(\mathbf{s1}, \rho(\mathbf{r1}, \underline{\mathbf{e}}_1)) + l_3\rho(\mathbf{t1}, \underline{\mathbf{e}}_1) - l_2\rho(\mathbf{u1}, \underline{\mathbf{e}}_1) - l_1 = 0 \quad (6.29)$$

$$\|\mathbf{q1}\|^2 = \langle \mathbf{q1}, \mathbf{q1} \rangle = 1 \quad (6.30)$$

$$\|\mathbf{r1}\|^2 = \langle \mathbf{r1}, \mathbf{r1} \rangle = 1 \quad (6.31)$$

$$\|\mathbf{s1}\|^2 = \langle \mathbf{s1}, \mathbf{s1} \rangle = 1 \quad (6.32)$$

$$\|\mathbf{t1}\|^2 = \langle \mathbf{t1}, \mathbf{t1} \rangle = 1 \quad (6.33)$$

En donde $\mathbf{p1} = (p1_0, 0, 0, p1_3)$, $\mathbf{q1} = (q1_0, 0, 0, q1_3)$, $\mathbf{r1} = (r1_0, 0, 0, r1_3)$, $\mathbf{s1} = (s1_0, 0, 0, s1_3)$, $\mathbf{t1} = (t1_0, 0, 0, t1_3)$ y $\mathbf{u1} = (u1_0, 0, 0, u1_3)$ son los *cuaterniones* que transforman las bases locales iniciales $\underline{\mathbf{a}}_{i,j}$ a la base $\underline{\mathbf{e}}_i$ ($i = 1, 2, 3$). Los componentes de dichos *cuaterniones* están dadas de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} p1_0 &= \cos \frac{\alpha_1}{2}, & p1_3 &= \text{sen} \frac{\alpha_1}{2} \underline{\mathbf{e}}_3 \\ q1_0 &= \cos \frac{\beta_1}{2}, & q1_3 &= \text{sen} \frac{\beta_1}{2} \underline{\mathbf{e}}_3 \\ r1_0 &= \cos \frac{\theta_1}{2}, & r1_3 &= \text{sen} \frac{\theta_1}{2} \underline{\mathbf{e}}_3 \\ s1_0 &= \cos \frac{\phi_1}{2}, & s1_3 &= \text{sen} \frac{\phi_1}{2} \underline{\mathbf{e}}_3 \\ t1_0 &= \cos \frac{\varphi_1}{2}, & t1_3 &= \text{sen} \frac{\varphi_1}{2} \underline{\mathbf{e}}_3 \\ u1_0 &= \cos \frac{\psi_1}{2}, & u1_3 &= \text{sen} \frac{\psi_1}{2} \underline{\mathbf{e}}_3 \end{aligned}$$

Los ángulos α_1 , β_1 , θ_1 , ϕ_1 , φ_1 y ψ_1 son los desplazamientos angulares necesarios que los eslabones realizan alrededor del eje $\underline{\mathbf{e}}_3$ para obtener las transformaciones de las bases móviles a la base inercial. En lo que sigue, siempre se referirán los ángulos como éstos.

Las ecuaciones (6.28) y (6.29) están constituidas por 4 ecuaciones escalares, y con 4 ecuaciones de normas de los *cuaterniones* $\mathbf{q1}$, $\mathbf{r1}$, $\mathbf{s1}$ y $\mathbf{t1}$ las cuales resultan en total 8 ecuaciones. En el caso de las incógnitas se tienen 6 de longitudes ($l_6, l_7, l_8, l_4, l_3, l_2$) de los eslabones del mecanismo y 4 *cuaterniones* con dos componentes cada uno ($q1_0, q1_3, r1_0, r1_3, s1_0, s1_3, t1_0, t1_3$). Por consiguiente, se tienen en total 8 ecuaciones con 14 incógnitas.

Por diseño conceptual observamos en la figura 5.12 que el eslabón l_8 sobresale con respecto al mango de sujeción. Si al realizar la síntesis se obtiene una dimensión con éstas características podría lastimarse el operador durante la siembra. Para evitar lo anterior, es necesario controlar los desplazamientos angulares en los cuales se obtenga una dimensión que sea cubierta por el mango de sujeción. Por lo tanto, r_1 asociado a la posición angular inicial del eslabón l_8 se conoce por diseño y es de 60° .

A fin de obtener una configuración del mecanismo según el diseño conceptual es preciso controlar la posición angular inicial del eslabón l_4 , por lo que el valor numérico de s_1 es de 250° . Para el caso del eslabón l_2 también la posición inicial se da por diseño ($\psi = 115.1^\circ$) y las demás posiciones son las mismas del eslabón l_0 por ser los dos un solo cuerpo rígido.

Por las consideraciones anteriores se tienen 6 ecuaciones con 10 incógnitas para la posición inicial. Esto indica que se tienen 4 incógnitas (opciones libres) para asignarles valores y obtener un mecanismo. Cada posición prescrita adiciona 6 ecuaciones escalares y 4 opciones libres (componentes de q_2 y t_2). De tal manera que para dos posiciones se tiene un sistema de 12 ecuaciones con 14 incógnitas (4 opciones). Para tres posiciones prescritas no hay opciones libres y existe un número finito de soluciones. Por lo tanto, se requieren tres posiciones para la síntesis del mecanismo (Tabla 6.2)

Tabla 6.2: Posiciones e incógnitas.

Posición	Datos	Incógnitas	Sistema
1	$p_{10}, p_{13}, r_{10}, r_{13}, s_{10},$ $s_{13}, u_{10}, u_{13}, t_5, t_1$	$l_6, l_7, l_8, l_4, l_3,$ $l_2, q_{10}, q_{13}, t_{10}, t_{13}$	6×10
2	$p_{20}, p_{23}, r_{20}, r_{23},$ $s_{20}, s_{23}, u_{20}, u_{23}$	$q_{20}, q_{23}, t_{20}, t_{23}$	12×14
3	$p_{30}, p_{30}, r_{30}, r_{33},$ $t_{30}, t_{33}, u_{30}, u_{33},$	$q_{30}, q_{33}, t_{30}, t_{33}$	18×18

De acuerdo con la tabla 6.2 se necesitan otras 2 posiciones prescritas para sintetizar el mecanismo con las cuales al se obtienen un sistema de 18 ecuaciones con 18 incógnitas.

La modelación de la segunda posición se refiere con respecto a la primera posición (aplicando la ecuación (6.20)). Para la tercera posición se refiere directamente a la primera posición (utilizando la ecuación (6.23)). En este trabajo no se representan en figura éstas posiciones sólo se consideran las bases para formular las ecuaciones.

Sean entonces $\underline{b}_{i,j} \in \mathbb{R}^4$ las bases locales localizados en cada una de las juntas rotacionales en la segunda posición o configuración. Estas se denotan en función de la primera rotación como:

$$\underline{b}_{11} = \rho(\underline{p}2, \underline{a}_{11}) = \rho(\underline{p}2, \rho(\underline{p}1, \underline{e}_1)) = \underline{p}2 \otimes \underline{p}1 \otimes \underline{e}_1 \otimes \overline{\underline{p}1 \otimes \underline{p}2}$$

$$\underline{b}_{12} = \rho(\underline{q}2, \underline{a}_{12}) = \rho(\underline{q}2, \rho(\underline{q}1, \underline{e}_1)) = \underline{q}2 \otimes \underline{q}1 \otimes \underline{e}_1 \otimes \overline{\underline{q}1 \otimes \underline{q}2}$$

$$\underline{b}_{13} = \rho(\underline{r}2, \underline{a}_{13}) = \rho(\underline{r}2, \rho(\underline{r}1, \underline{e}_1)) = \underline{r}2 \otimes \underline{r}1 \otimes \underline{e}_1 \otimes \overline{\underline{r}1 \otimes \underline{r}2}$$

$$\underline{b}_{14} = \rho(\underline{s}2, \underline{a}_{14}) = \rho(\underline{r}2, \rho(\underline{s}1, \underline{e}_1)) = \underline{r}2 \otimes \underline{s}1 \otimes \underline{e}_1 \otimes \overline{\underline{s}1 \otimes \underline{r}2}$$

$$\underline{b}_{15} = \rho(\underline{t}2, \underline{a}_{15}) = \rho(\underline{t}2, \rho(\underline{t}1, \underline{e}_1)) = \underline{t}2 \otimes \underline{t}1 \otimes \underline{e}_1 \otimes \overline{\underline{t}1 \otimes \underline{t}2}$$

$$\underline{b}_{16} = \rho(\underline{u}2, \underline{a}_{16}) = \rho(\underline{u}2, \rho(\underline{u}1, \underline{e}_1)) = \underline{u}2 \otimes \underline{u}1 \otimes \underline{e}_1 \otimes \overline{\underline{u}1 \otimes \underline{u}2}$$

Escribiendo las ecuaciones vectoriales (6.16) y (6.17) en función de cada una de las bases correspondientes, se tiene

$$l_6 \rho(\underline{p}2, \underline{a}_{11}) + l_7 \rho(\underline{q}2, \underline{a}_{12}) + l_8 \rho(\underline{r}2, \underline{a}_{13}) - l_5 = 0 \quad (6.34)$$

$$l_4 \rho(\underline{s}2, \underline{a}_{14}) + l_3 \rho(\underline{t}2, \underline{a}_{15}) - l_2 \rho(\underline{u}2, \underline{a}_{16}) - l_1 = 0 \quad (6.35)$$

$$\|\underline{q}2\|^2 = \langle \underline{q}2, \underline{q}2 \rangle = 1 \quad (6.36)$$

$$\|\underline{t}2\|^2 = \langle \underline{t}2, \underline{t}2 \rangle = 1 \quad (6.37)$$

En esta posición, $\underline{p}2 = (p_{20}, 0, 0, p_{23})$, $\underline{q}2 = (q_{20}, 0, 0, q_{23})$, $\underline{r}2 = (r_{20}, 0, 0, r_{23})$, $\underline{s}2 = (s_{20}, 0, 0, s_{23})$, $\underline{t}2 = (t_{20}, 0, 0, t_{23})$ y $\underline{u}2 = (u_{20}, 0, 0, u_{23})$ transforman las bases locales $\underline{b}_{i,j}$. Los cuaterniones que orientan cada junta rotacional de los eslabones del mecanismo en la primera y segunda posiciones transforman las bases locales $\underline{a}_{i,j}$ respectivamente a la base inercial \underline{e}_i . Los componentes están dados de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} p_{20} &= \cos \frac{\alpha_2}{2}, & p_{23} &= \text{sen} \frac{\alpha_2}{2} \underline{e}_3 \\ q_{20} &= \cos \frac{\beta_2}{2}, & q_{23} &= \text{sen} \frac{\beta_2}{2} \underline{e}_3 \\ r_{20} &= \cos \frac{\theta_2}{2}, & r_{23} &= \text{sen} \frac{\theta_2}{2} \underline{e}_3 \\ s_{20} &= \cos \frac{\phi_2}{2}, & s_{23} &= \text{sen} \frac{\phi_2}{2} \underline{e}_3 \\ t_{20} &= \cos \frac{\varphi_2}{2}, & t_{23} &= \text{sen} \frac{\varphi_2}{2} \underline{e}_3 \\ u_{20} &= \cos \frac{\psi_2}{2}, & u_{23} &= \text{sen} \frac{\psi_2}{2} \underline{e}_3 \end{aligned}$$

Para la tercera y última configuración, sean $\underline{e}_{ij} \in \mathbb{R}^4$ las bases locales en las juntas rotacionales de los eslabones las cuales están denotadas como:

$$\begin{aligned}\underline{e}_{11} &= \rho(\underline{p3}, \underline{a}_{11}) = \rho(\underline{p3}, \rho(\underline{p1}, \underline{e}_1)) = \underline{p3} \otimes \underline{p1} \otimes \underline{e}_1 \otimes \overline{\underline{p1} \otimes \underline{p3}} \\ \underline{e}_{12} &= \rho(\underline{q3}, \underline{a}_{12}) = \rho(\underline{q3}, \rho(\underline{q1}, \underline{e}_1)) = \underline{q3} \otimes \underline{q1} \otimes \underline{e}_1 \otimes \overline{\underline{q1} \otimes \underline{q3}} \\ \underline{e}_{13} &= \rho(\underline{r3}, \underline{a}_{13}) = \rho(\underline{r3}, \rho(\underline{r1}, \underline{e}_1)) = \underline{r3} \otimes \underline{r1} \otimes \underline{e}_1 \otimes \overline{\underline{r1} \otimes \underline{r3}} \\ \underline{e}_{14} &= \rho(\underline{s3}, \underline{a}_{14}) = \rho(\underline{s3}, \rho(\underline{s1}, \underline{e}_1)) = \underline{s3} \otimes \underline{s1} \otimes \underline{e}_1 \otimes \overline{\underline{s1} \otimes \underline{s3}} \\ \underline{e}_{15} &= \rho(\underline{t3}, \underline{a}_{15}) = \rho(\underline{t3}, \rho(\underline{t1}, \underline{e}_1)) = \underline{t3} \otimes \underline{t1} \otimes \underline{e}_1 \otimes \overline{\underline{t1} \otimes \underline{t3}} \\ \underline{e}_{16} &= \rho(\underline{u3}, \underline{a}_{16}) = \rho(\underline{u3}, \rho(\underline{u1}, \underline{e}_1)) = \underline{u3} \otimes \underline{u1} \otimes \underline{e}_1 \otimes \overline{\underline{u1} \otimes \underline{u3}}\end{aligned}$$

De la misma manera que las ecuaciones anteriores, tenemos la ecuación vectorial siguiente

$$l_6 \rho(\underline{p3}, \underline{a}_{11}) + l_7 \rho(\underline{q3}, \underline{a}_{12}) + l_8 \rho(\underline{r3}, \underline{a}_{13}) - l_5 = 0 \quad (6.38)$$

$$l_4 \rho(\underline{s3}, \underline{a}_{14}) + l_3 \rho(\underline{t3}, \underline{a}_{15}) - l_2 \rho(\underline{u3}, \underline{a}_{16}) - l_1 = 0 \quad (6.39)$$

$$\|\underline{q3}\|^2 = \langle \underline{q3}, \underline{q3} \rangle = 1 \quad (6.40)$$

$$\|\underline{t3}\|^2 = \langle \underline{t3}, \underline{t3} \rangle = 1 \quad (6.41)$$

En esta última posición $\underline{p3} = (p3_0, 0, 0, p3_3)$, $\underline{q3} = (q3_0, 0, 0, q3_3)$, $\underline{r3} = (r3_0, 0, 0, r3_3)$, $\underline{s3} = (s3_0, 0, 0, s3_3)$, $\underline{t3} = (t3_0, 0, 0, t3_3)$ y $\underline{u3} = (u3_0, 0, 0, u3_3)$ transforman las bases locales \underline{e}_{ij} . Los *cuaterniones* que orientan cada junta rotacional de los eslabones del mecanismo en la primera y tercera posiciones transforman las bases locales \underline{e}_{ij} respectivamente a la base inercial \underline{e}_i . Los componentes están dadas como:

$$\begin{aligned}p3_0 &= \cos \frac{\alpha_3}{2}, & p3_3 &= \text{sen} \frac{\alpha_3}{2} \underline{e}_3 \\ q3_0 &= \cos \frac{\beta_3}{2}, & q3_3 &= \text{sen} \frac{\beta_3}{2} \underline{e}_3 \\ r3_0 &= \cos \frac{\theta_3}{2}, & r3_3 &= \text{sen} \frac{\theta_3}{2} \underline{e}_3 \\ s3_0 &= \cos \frac{\phi_3}{2}, & s3_3 &= \text{sen} \frac{\phi_3}{2} \underline{e}_3 \\ t3_0 &= \cos \frac{\varphi_3}{2}, & t3_3 &= \text{sen} \frac{\varphi_3}{2} \underline{e}_3 \\ u3_0 &= \cos \frac{\psi_3}{2}, & u3_3 &= \text{sen} \frac{\psi_3}{2} \underline{e}_3\end{aligned}$$

De acuerdo a las consideraciones de diseño los *cuaterniones* $\underline{p1}$, $\underline{p2}$, $\underline{p3}$, $\underline{u1}$, $\underline{u2}$ y $\underline{u3}$ en las ecuaciones anteriores son valores numéricos determinados. Como para sintetizar el mecanismo se necesitan tres configuraciones, se requieren determinar los ángulos asociados a los mismos *cuaterniones* dentro de los intervalos de 125° y 12° , respectivamente.

6.5.1 Posiciones angulares de los eslabones

Para la determinación de las posiciones angulares se divide cada intervalo angular entre dos a partir de la posición inicial de los eslabones l_6 y l_2 , respectivamente. En el caso de los eslabones l_8 y l_4 se escogen arbitrariamente según el diseño conceptual. La Tabla 6.3 muestra la posiciones de los eslabones.

Tabla 6.3: Definición de la síntesis.

Posiciones angulares de los eslabones(°)											
l_6			l_8			l_4			l_2		
α_0	α_1	α_2	θ_0	θ_1	θ_2	ϕ_0	ϕ_1	ϕ_2	ψ_0	ψ_1	ψ_2
30	60	125	60	30	55	250	30	55	115.1	-10	-12

6.6 Simulación de la síntesis

En este trabajo se utiliza el software Mathematica[36] para la programación de las ecuaciones (6.28), (6.29), (6.30), (6.31), (6.32), (6.33), (6.34), (6.35), (6.36), (6.37), (6.38), (6.39), (6.40) y (6.41) de la modelación del mecanismo para la simulación del mismo.

El programa permite determinar las dimensiones y desplazamientos angulares del mecanismo introduciendo las posiciones angulares y las coordenadas de los pivotes (Tabla 6.3). Los sistemas de ecuaciones algebraicas no lineales del tipo polinomial que se obtienen se resuelven con el método Newton- Raphson el cual contiene el Software Mathematica.

Para cada iteración que realiza la computadora se resuelve el sistema lineal de ecuaciones. Una vez ejecutadas todas las iteraciones el programa termina y da los resultados de las dimensiones de los eslabones y los desplazamientos angulares del mecanismo. Después se procede a graficar a una escala adecuada y simular el funcionamiento.

En caso de que el mecanismo obtenido no cumpla las condiciones de funcionalidad se procede a variar los datos iniciales de diseño (introducir nuevos ángulos) para obtener otras dimensiones, y así hasta obtener las magnitudes más adecuadas del mecanismo. Después de introducir varios datos de desplazamientos angulares de los eslabones l_6 , l_8 y l_2 y analizar cada uno de los mecanismos generados se procedió a elegir uno que cumple con las exigencias de diseño cuyas dimensiones y posiciones angulares se muestran abajo (Tabla 6.4) y en la Figura 6.8 el resultado de la simulación.

Tabla 6.4: Resultado de la síntesis del mecanismo.

Eslabones	Dimensión (mm)	Posiciones angulares (°)		
		0	1	2
l_6	22.0589	30	60	125
l_7	46.0358	346.1923	-7.1164	-11.4172
l_8	41.6181	60	30	55
l_4	37.5582	250	30	55
l_3	73.6724	175.6368	-7.2408	-9.5244
l_2	126.1290	115.1	-10	-12

Una vez que se ha realizado la síntesis se elaboraron los planos de detalle de cada uno de los eslabones (Anexo A Planos de la sembradora). La geometría que presentan se determinaron en base al espacio de movimiento de que disponen.

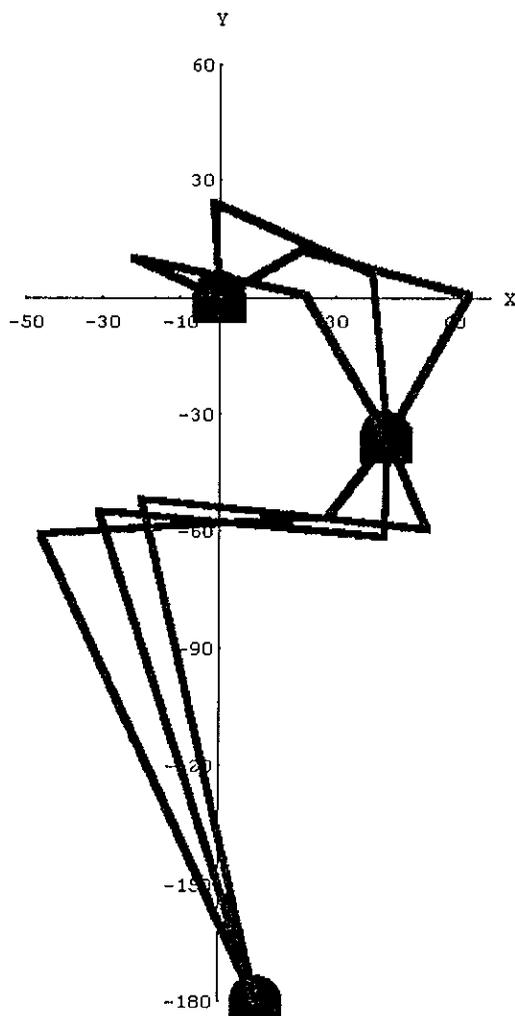


Figura 6.8: Mecanismo sintetizado en las posiciones prescritas.

Capítulo 7

Construcción de la sembradora

7.1 Introducción

Una vez que se han determinado los principales parámetros de la sembradora y se ha realizado el dimensionamiento geométrico de los elementos que la integran en los capítulos precedentes, en este capítulo se hace una breve descripción acerca de la construcción del prototipo, así como las pruebas realizadas en laboratorio y campo del mismo para verificar el funcionamiento.

7.2 Construcción y montaje

Para iniciar la construcción de una máquina agrícola o industrial se requiere que ésta cuente con la documentación técnica necesaria, es decir, los planos. Después de lo anterior, se hacen las cartas tecnológicas en donde se describe el proceso de fabricación de cada pieza. Y por último se realiza el montaje de las piezas mediante pernos, tornillos o soldadura.

En este caso, en los capítulos 5 y 6 se realizó el dimensionamiento de los elementos que componen la sembradora portátil y al mismo tiempo se ejecutaron los planos de conjunto, subconjunto y de piezas. En éstos se indican los acabados, la forma de uniones con los tornillos y pernos, y el tipo de uniones de soldadura entre los elementos. Con los planos se procedió a la fabricación de cada uno de los elementos y al ensamble de los mismos hasta tener el prototipo.

La fabricación del prototipo se llevo a cabo en un taller particular, ubicado en San Simón, Municipio de Texcoco, Estado de México. En la Tabla 7.1 se muestran los costos de los materiales utilizados y la mano de obra para la fabricación de los elementos.

El costo total, materiales y mano de obra, del prototipo fué de \$320.00 (Tabla 7.1). Se puede apreciar que el precio es económico considerando que esta en función de uno solo. Si se fabrica a mayor escala, se reducen los costos, dado que se aprovecha en lo máximo tanto el material como la mano de obra. Durante la fabricación, se hicieron ajustes geométricos en algunos componentes, provocando así aumento de costo.

Tabla 7.1: Costo de los materiales y mano de obra del espeque.

Cantidad	Denominación	Costo del material (\$)	Costo de la mano de obra (\$)
1	Mango o chasis	15.00	5.00
2	Cuchillas (punta)	20.00	40.00
1	Tolva	15.00	15.00
1	Dosificador	30.00	30.00
1	Mecanismo	30.00	20.00
1	SopORTE general	15.00	10.00
1	Apoyo	20.00	10.00
1	Resorte	15.00	-
12	Tornillos	20.00	-
Subtotal		180.00	140.00
Total			320.00

7.3 Pruebas de laboratorio y de campo.

Después de haber sido construido el prototipo se realizaron pruebas de laboratorio. En primer lugar, se verificó que el mecanismo de dosificación y depositación funcionara adecuadamente. En segundo lugar, se lleno de semilla no clasificada la tolva, regulando el dosificador para la cantidad de semilla deseada (3 a 4) y se hizo girar el sistema de dosificación manualmente. En estas pruebas se obtuvieron resultados satisfactorios, pues no se dañan las semillas y tampoco se atorán en la celda. Se dosifican de 2 a 3 semillas dependiendo de la regulación del tamaño de la celda.

Una vez realizadas las pruebas de laboratorio, se procedió a las pruebas de campo. Estas se llevaron a cabo en condiciones naturales de trabajo. Se eligieron tres parcelas (terrenos para siembra) sin preparar, como el sistema roza-tumba-quema, próximo a ser sembrado bajo diferentes condiciones de humedad.

Para conocer el contenido de humedad del suelo de las parcelas de prueba, se sacaron 4 muestras en forma aleatoria en cada parcela. Las muestras fueron secadas a la estufa a 110° durante 24 horas para obtener el peso de suelo seco. Se obtuvo el valor promedio del peso húmedo y seco de las muestras de suelo con la ecuación (3.1) y, por último, se utiliza la siguiente fórmula para el cálculo del contenido de humedad[18].

$$c_{hs} = \frac{m_{sh} - m_{ss}}{m_{ss}} \quad (7.1)$$

Donde:

- c_{hs} = Contenido de humedad del suelo, %;
- m_{sh} = Masa de suelo húmedo, gr;
- m_{ss} = Masa de suelo seco, gr.

Las pruebas de siembra se realizaron en surcos de 30 m de longitud, con una distancia entre planta y planta de 50 cm. Esto indica que en un surco se tuvieron 60 golpes. La verificación del número de semillas depositadas por golpe se realizó de manera visual; destapando los hoyos y contándolas las semillas.

7.4 Resultados

Durante las pruebas se observó que en condiciones de suelo con excesiva humedad (17.11%), Tabla 7.2, se dificulta la siembra. Durante los primeros dos o tres golpes el espeque funciona bien, después se empieza a introducir tierra entre las cuchillas hasta taparse. La tierra llega hasta la parte superior donde se encuentra el resorte. Dosifica bien, pero las semillas se quedan sobre la tierra que se introduce.

Tabla 7.2: Contenido de humedad de los suelos de las parcelas de prueba.

Muestra	Parcelas (Terrenos de prueba)					
	Parcela 1 (gr)		Parcela 2 (gr)		Parcela 3 (gr)	
	S. Húmedo	S. Seco	S. Húmedo	S. Seco	S. Húmedo	S. Seco
1	93.20	75.77	85.31	76.05	95.50	84.38
2	96.18	78.09	101.53	86.82	131.01	113.17
3	104.17	85.38	83.69	68.92	93.21	83.17
4	97.71	84.73	84.76	69.78	112.28	97.65
Promedio	97.71	80.99	88.82	75.40	108.01	94.59
c_{hs} (%)	17.11		15.10		12.42	

ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

En condiciones de suelo preparado (arado), con menor contenido de humedad (15%), funciona adecuadamente. Solamente se requiere verificar de vez en cuando si se esta introduciendo tierra entre las cuchillas, si éste es el caso, limpiar y seguir sembrando. Al realizar la siembra en un suelo no preparado, con residuos del cultivo anterior, se observó buen desempeño. En este caso, la resistencia del suelo a la penetración es mucho mayor, por lo que en ciertas ocasiones se necesitan dar dos golpes en el mismo lugar elegido para la siembra sin pivotear el mecanismo para no depositar las semillas.

Conclusiones

- Se diseñó y construyó una sembradora portátil para la siembra de maíz con un nuevo dispositivo dosificador el cual se adapta a los diferentes tamaños de semillas de maíz y al número de las mismas a depositar por golpe.
- El costo del material y la mano de obra para la fabricación de la sembradora fué de \$320.0 el cual se puede reducir si se fabrica a mayor cantidad.
- Para el uso adecuado de la sembradora se debe sembrar en terrenos de cultivo de bajo contenido de humedad (*antes del riego, antes de que llueva o esperar que disminuya la humedad*).
- La sembradora diseñada permite la siembra de otras semillas o granos, por lo que se recomienda hacer pruebas con otro tipo de semillas (frijol, calabaza, sandía, chile, entre otros) con el fin de reducir el cambio de cultivo.
- Se recomienda realizar pruebas de campo más exhaustivas en donde se evalúen tiempo de siembra por hectárea, fatiga del sembrador, profundidad de depositación de las semillas, porcentaje de germinación, entre otras consideraciones.
- La modelación matemática de la *síntesis de mecanismos* tiene la ventaja de ser exacta y repetitiva. Una vez programadas las ecuaciones obtenidas en la modelación, se pueden variar las condiciones iniciales de diseño para crear nuevos mecanismos sin hacer otro programa. Y la simulación permite analizar el funcionamiento antes de proceder a la construcción.

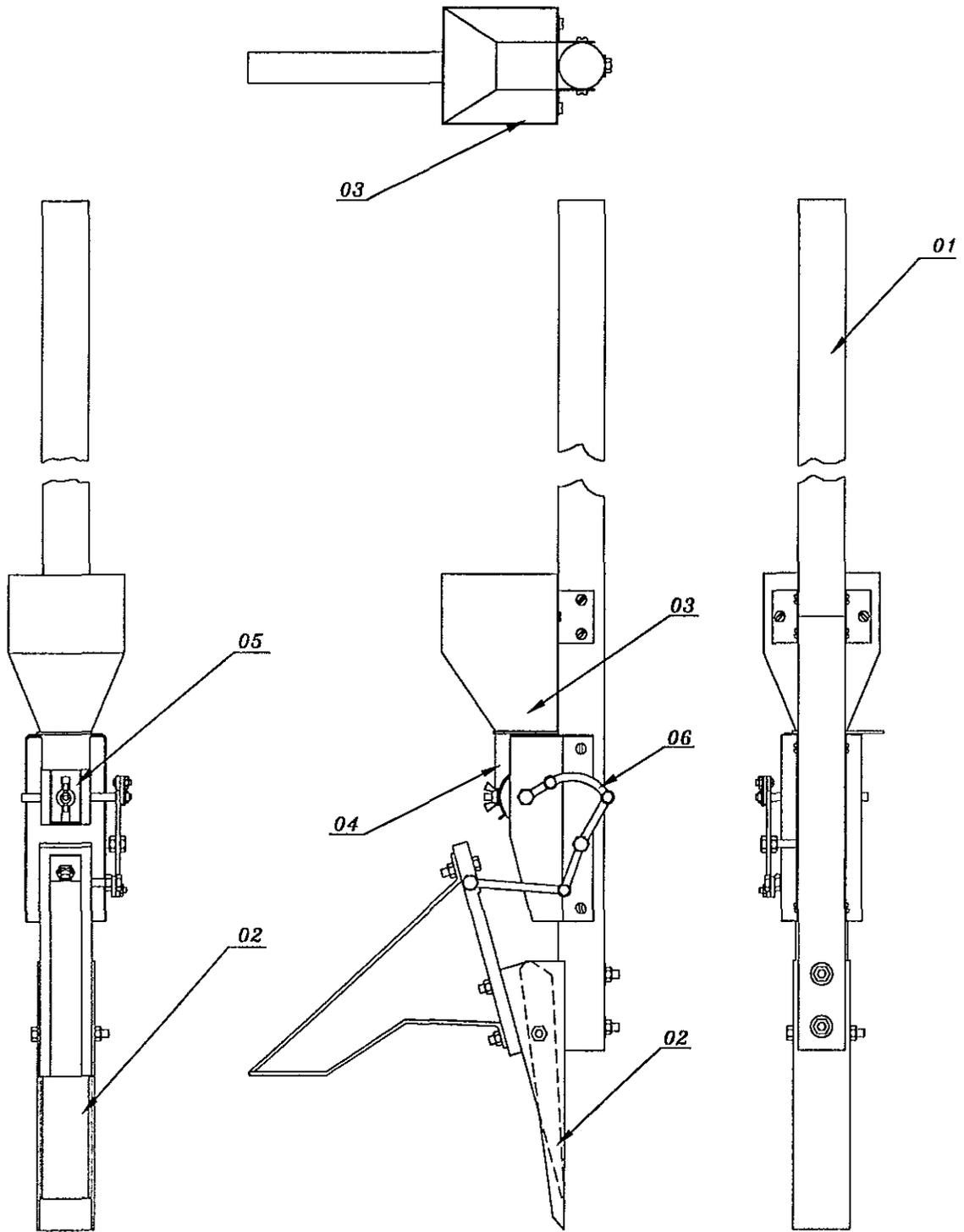
Bibliografía

- [1] Masera Cerruti, Omar. *Crisis y mecanización de la agricultura campesina*. 1a edición. El Colegio de México, 1990.
- [2] Turrent Fernandez, Antonio. *Panorama de la agricultura en México*. Compañía Editorial Continental, S. A. de C. V. México, 1987.
- [3] Instituto Nacional de Estadística, Geografía e informática (INEGI). *Censo agrícola y ganadera*, 1995.
- [4] Instituto Nacional de Estadística, Geografía e informática (INEGI). *Censo Agropecuario*, 1995.
- [5] Diehl, R., Matco Box, J. M. *Fitotecnia general*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España, 1978.
- [6] Rodriguez Candu, Adolfo. *Caracterización de la producción agrícola de la región costa de Oaxaca*. Universidad Autónoma Chapingo. Dirección académica. Subdirección de centros regionales. Pinotepa Nacional, Oaxaca, 1989.
- [7] Cruz León, Artemio. *Los instrumentos agrícolas en la zona central de Veracruz*. Universidad Autónoma Chapingo. 1ª Edición, 1989.
- [8] Campbell, Joseph K. *Dibble sticks, donkeys, and diesels (machines in crop production)*. Department of Agricultural and Biological Engineering. Cornell University. Ithaca , New York, USA, 1990.
- [9] Carruthers, Ian and Rogriguez, Marc. *Tools for agriculture: A guide to appropriate equipment for smallholder farmers*. Fourt edition. Intermediate technology publications. Nottingham, UK, 1992.
- [10] Ortiz Cañavate, J. y Hernández, José Luis. *Técnica de la mecanización agraria*. Edit. Mundi-Prensa. Madrid, España, 1992.

- [11] Ortiz Cañavate, J. y Hernández, José Luis. *Las máquinas agrícolas y su aplicación*. 3ª edición. Edit. Mundi-Prensa. Madrid, España., 1989.
- [12] Sitkei, G. *Mechanics of agricultural materials*. University of Forestry and Wood Science Sapro. Elsevier science publisher, Hungary, 1986.
- [13] Silveira Remus, J. A. *Teoría y cálculo de máquinas agrícolas*. Editorial Pueblo y Educación. Habana, Cuba, 1992.
- [14] Bernacki et al. *Agricultural Machines, Theory and Construction*. Vol. 3. U. S. Department of commerce. Traducción 69-50019. Springfield (Virginia), 1972.
- [15] Published by American Society of Agricultural Engineers (ASAE). *Grain and forage harvesting. The the proceeding of the International Grain and Forage Harvesting Conference*. Scheman center, Iowa State University. Ames, Iowa, 1977.
- [16] Ashburner, J. E. and Sims, B. G. *Elementos de diseño de tractor y herramientas de labranza del suelo*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura; San José, Costa Rica, 1984.
- [17] McKyes, Edward. *Soil cutting and tillage*. Vol.7 Edit. Elsevier. Science publishers B. V., 1985.
- [18] Forsythe y Warren. *Física de suelos, manual de laboratorio*. Instituto Interamericano de ciencias agrícolas de la OEA. San José, Costa Rica, 1975.
- [19] ASAE, *Agricultural Engineers yearbook*, 1981.
- [20] Krick, E. V. Introducción a la ingeniería y al diseño en ingeniería. Edit. Limusa, 2a ed., México, 1991.
- [21] G. Ullman, David. *The mechanical design process*. Oregon State University. McGraw-Hill International Editions, 1992.
- [22] Akritidis, C. B. *The mechanical characteristics of maize stalks in relation to the characteristics of cutting blade*. J. Agric. Engng Res. (1974) 19, 1-12.
- [23] Beer, F. P. y Russell, J. E. *Mecánica de Materiales*. Edit. McGraw-Hill. México D. F, 1997.
- [24] Aceros Fortuna.. *Catálogo de materiales*. México, D. F, 1992.
- [25] Shigley, Joseph Edward y Mishke, C. R. *Diseño en ingeniería mecánica*. 5ª Edición. Edit. McGraw-Hill. México, 1993.

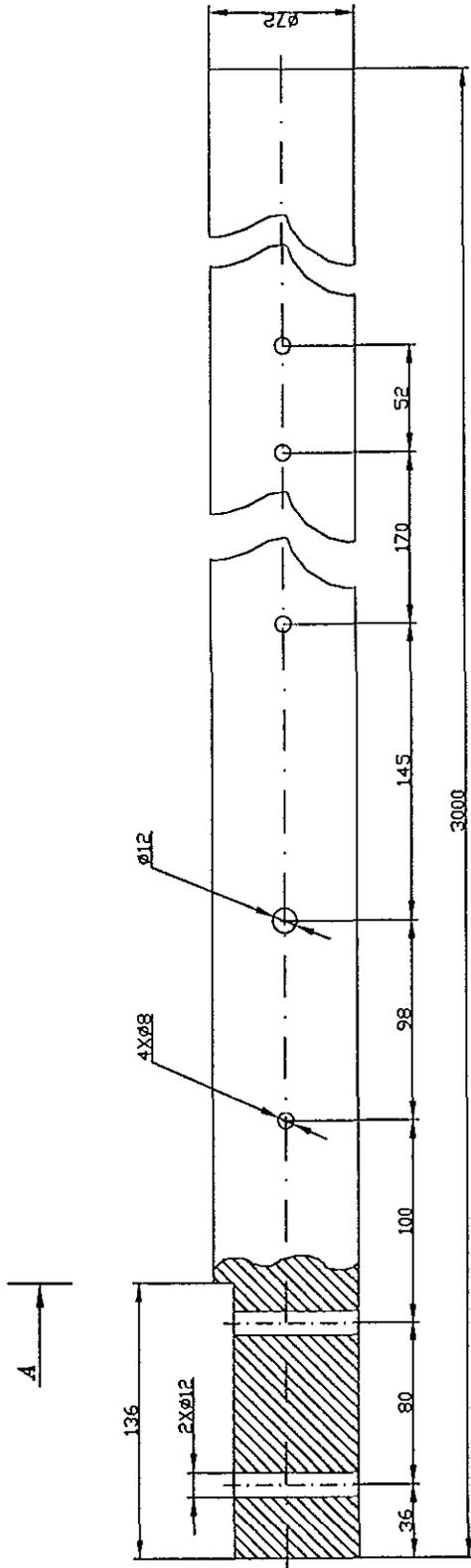
- [26] Mott, Robert L. *Machine elements in mechanical design*. Second Edition. Maxwell Macmillan international editions, 1992.
- [27] Harris, B. L. et al. , *Conservation and tillage systems in Texas. In proceeding of the southern region no- tillage conference*. Conservation tillage: Today and tomorrow. College station , Texas, 1987.
- [28] Funda, J., Paul, R. P. *A comparison of transforms and quaternions in robotics*. In proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation, 1988.
- [29] McGarva, John R. *Rapid research and selection of path generating mechanisms from a library*. Mech.and Mach. Theory. Vol. 29, No. 2, pp. 223- 235 (1986).
- [30] Jimenéz, J. M. and Alvarez G. *A simple and general methodo for kinematic synthesis of spatial mechanisms*. Mech. and Mach. Theory. Vol. 32, No. 3, pp. 323 - 347 (1997).
- [31] Erdman, G. Arthur; Sandor, George N. *Mechanism Design Analysis and Synthesis. Vol. 1*, Prentice Hall, 1997.
- [32] W. Spring, Kerry. *A Euler parameters and the use of quaternion algebra in the manipulation of finite rotations: a reviews*. Mech.and Mach. Theory. Vol. 21, No. 5, pp. 365 - 373 (1986).
- [33] Reyes, Avila Luis. *Quaternions: Une Representation Parametrique Systematique Des rotation Finies. Parte 1: Le Cadre theorique*. Rapport de Recherche INRIA No. 1303 - Rocquencourt, France 1990.
- [34] Mallik, Asok Kumar; Ghosh, Amitabha; Dittrich, Gunter. *Kinematic analysis and synthesis of mechanisms*. Boca Raton: CRC, c1994.
- [35] Casey, J. y C. Lama, V. *A tensor method for kinematic analysis of systems of rigid bodies*. Mech. and Mach. Theory. Vol. 21, No. 1, pp. 87 - 97 (1986).
- [36] Wolfram Stephen. *Mathematica: A system for doing mathematics by computer*. Adison-wesley, 1992.

Anexo A
Planos de la sembradora portátil

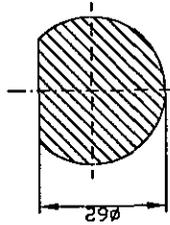


MT DE PROF	ESCALA	ACOTACION	TEXTURA	TOLERANCIAS GENERALES
	10:1	MM	$\sqrt{(\vee)}$	IT14
LAMINA	HOJA	MATERIAL	PLANO DEL ESPEQUE (PLANO GENERAL)	
A0	1/37			
PARTICIP	APPELL	FIRMA/FICHA		
ELABORADO	FORJADO	MM/20		
REVISADO	DE DISEÑO	MM/20		
LEGERA	DE MANEJO	MM/20		
APROBADO		MM/20	UNAM-DEPFI	ESPM-10-00-00

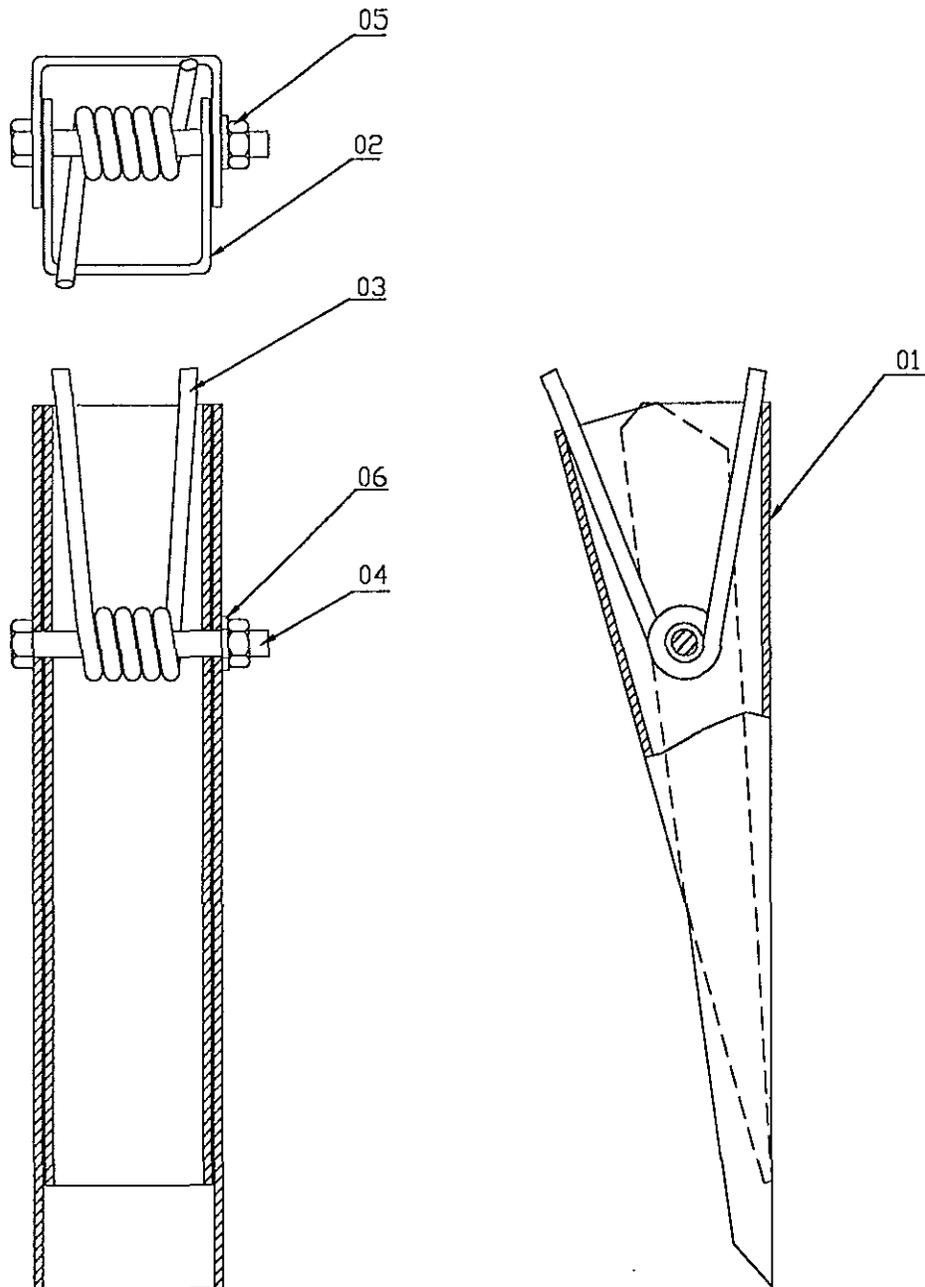
FORMATO	POSICION	CODIGO	DENOMINACION	CANTIDAD	OBSERVACION
			<u>DOCUMENTACION</u>		
A4		ESPM-10-00-00	PLANO DE VISTA GRAL.	1	
			<u>UNIDADES ENSAMBLADAS</u>		
A3	1	ESPM-10-01-00	MANGO O CHASIS	1	
A3	2	ESPM-10-02-00	PUNTA (CUCHILLAS)	1	
A0	3	ESPM-10-03-00	TOLVA	1	
A2	4	ESPM-10-04-00	CAJA CONTENEDORA	1	
A3	5	ESPM-10-05-00	SIST. DE DOSIFICACION	1	
A2	6	ESPM-10-06-00	MEC. DE DOS. Y DEPO.	1	
			<u>ARTICULOS NORMALIZADOS</u>		
	7	ESPM-10-07-00	TOR. CAB. PLANA 4X25	8	
<u>LAMINA</u>		<u>HOJA</u>			
A4		2/37			
<u>PARTICIPO</u>	<u>APELLIDO</u>	<u>FIRMA</u>	<u>FECHA</u>	PLANO DE LA SEMBRADORA PORTATIL	
ELABORO	TORRES		05/12/20		
DIRECTOR	DR. REYES		05/12/20		
ASESOR	DR. MATAMOROS		05/12/20		
APROBO			05/12/20		
UNAM-DEPFI			ESPM-10-00-00		



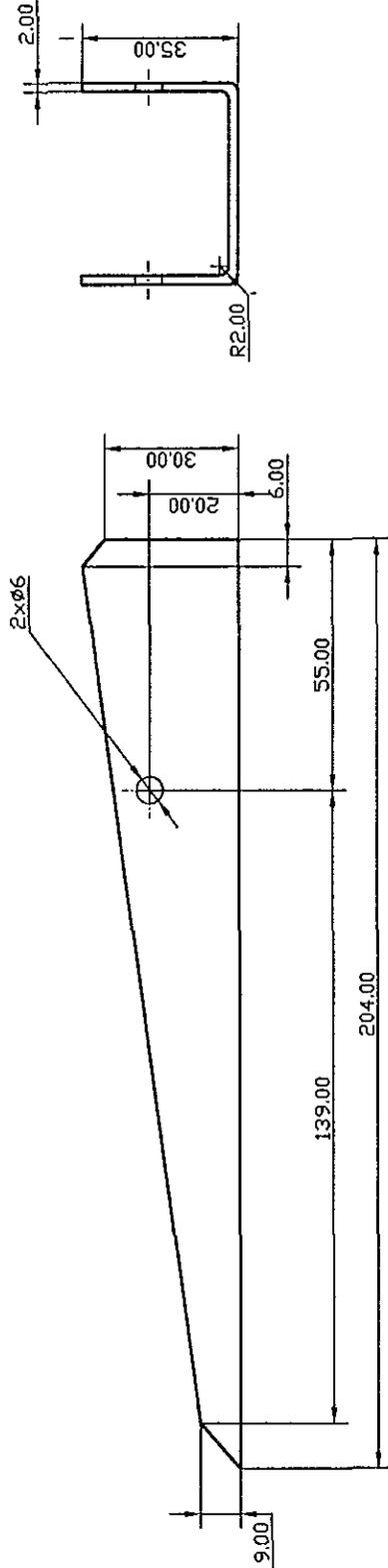
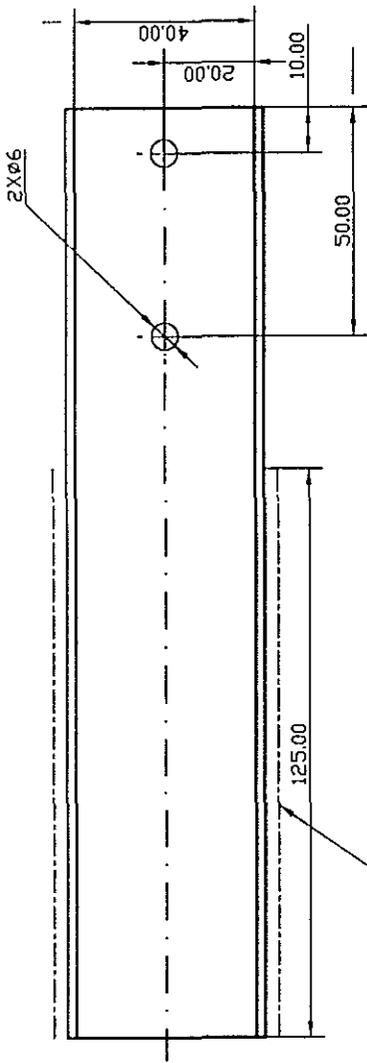
SECCION A-A



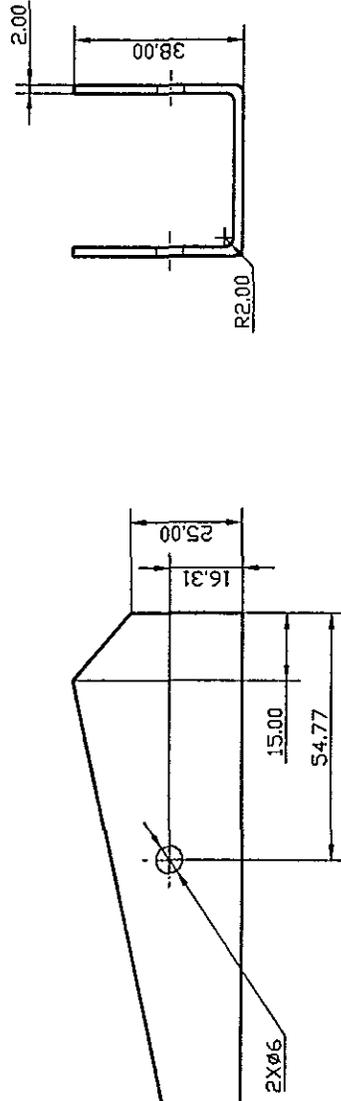
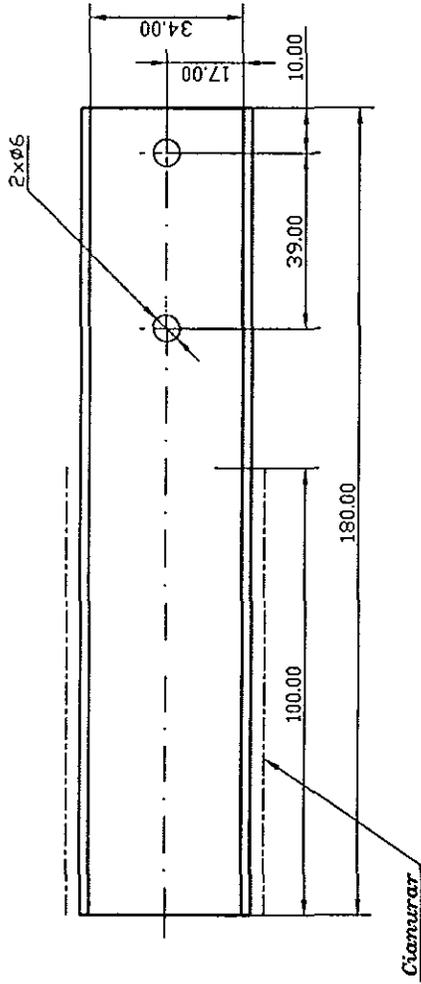
MET DE PROJ	ESCALA	ACOTACION	TEXTURA	TOLERANCIAS GENERALES	TOLERANCIAS GEOMETRICAS
	2:1	MM	25/⟨/⟩	IT14	
LAMINA	HOJA	MATERIAL	MANCO O CHASIS (PLANO DE PIEZA)		
A3	3/37	MADERA DE CEDRO			
PARTICIPAPELL FIRMAFECHA					
ELABORO	TORRES	6/12/79			
DIRECTOR DE RETE		6/12/79			
ASOSOR		6/12/79			
APROBO		6/12/79			
UNAM-DEPFI			ESPM-10-01-00		



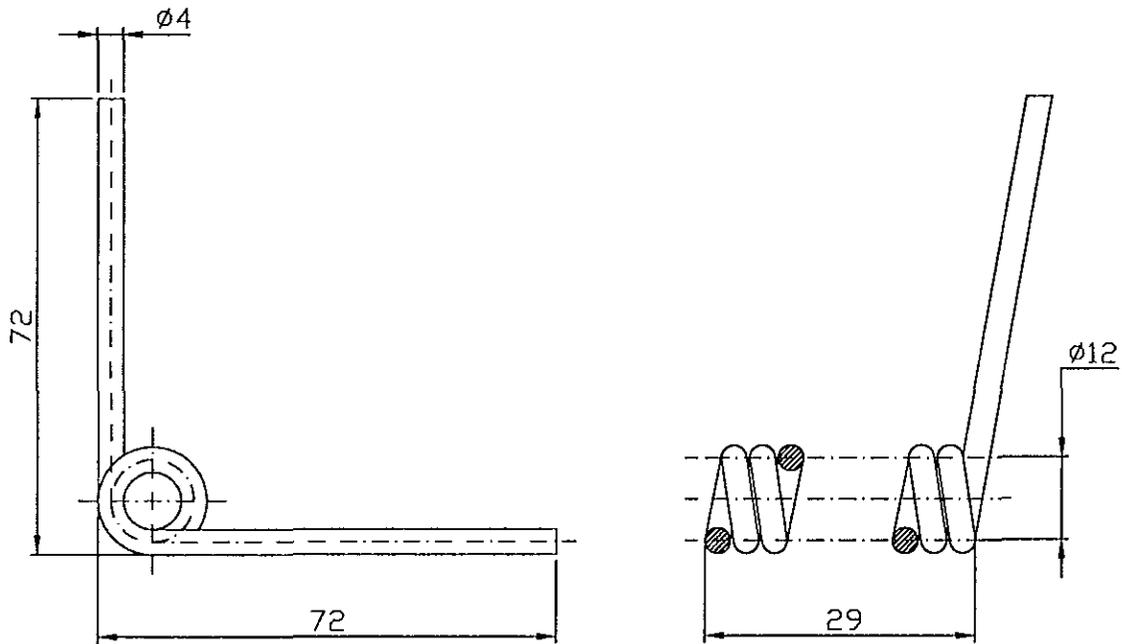
MET DE PROY		ESCALA	ACOTACION	TEXTURA	TOLERANCIAS	
		2:1	MM		GENERALES	GEOMETRICAS
					LAMINA	
A3		4/37		SIST. DE DEPOSITACION (PLANO DE CONJUNTO)		
PARTICIPO	APELLIDO	FIRMA	FECHA			
ELABORO	TORRES		05/12/20			
DIRECTOR	DR. REYES		05/12/20			
ASESOR	DR. MATAMAS		05/12/20			
APROBO			05/12/20			
UNAM-DEPFI				ESPM-10-02-00		



MET DE PROJ	ESCALA	ACOTACION	TEXTURA	TOLERANCIAS GENERALES GEOMETRICAS	
	2:1	MM	25/√<v>	IT14	
LAMINA	HOJA	MATERIAL	CUCHILLA SUPERIOR (PLANO DE PIEZA)		
A3	6/37	LAMINA EN FRIO CUBRE 10 ASY			
PARTICIPAPELL	FIRMAFECHA	UNAM-DEPFI			
ELABORO	FORRES				0.110 Kg
DIRECTOR DE REFS	6/12/24				
ASESOR	6/12/24	ESPM-10-02-01			
APROBO	6/12/24				



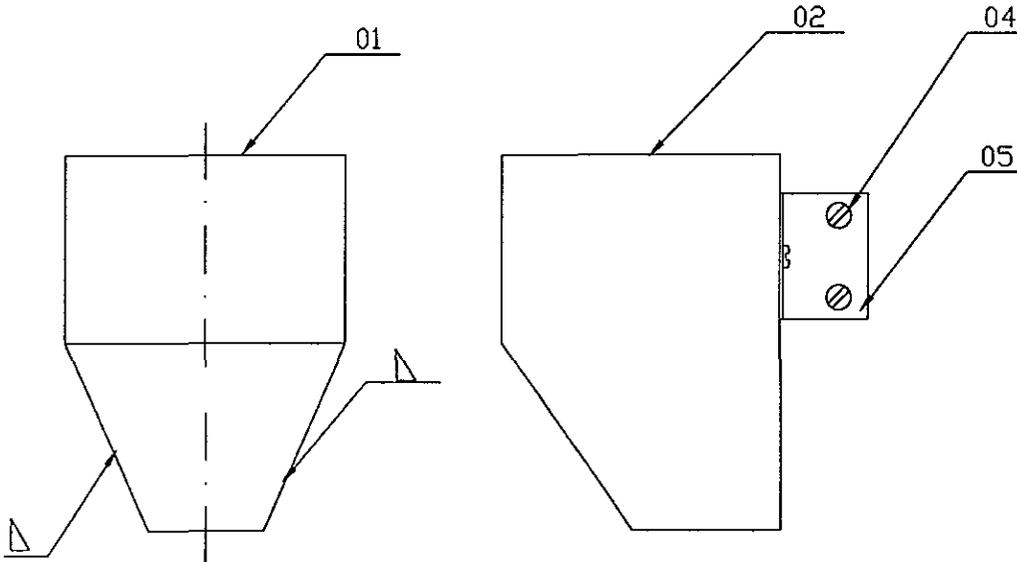
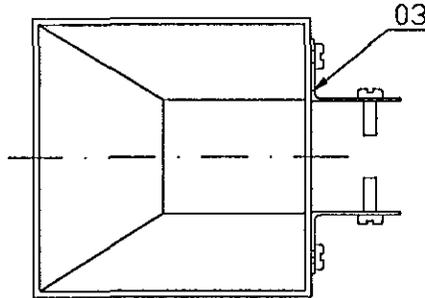
MET DE PRD	ESCALA	ACOTACION	TEXTURA	TOLERANCIAS
	2:1	MM	25/(\surd)	GENERALES GEOMETRICAS IT14
LAMINA	HOJA	MATERIAL	CUCHILLA INFERIOR (PLANO DE PIEZA)	
A3	7/37	LAMINA EN PRO CALIBRE 10		
PARTICIPPELL	FIRMAFECHA	ASY		
ELABORO	TORRES	5/12/28		
DIRECTOR DE	REYES	5/12/28	0.090 Kg	UNAM-DEPFI
ASESOR	DE	5/12/28	ESPM-10-02-01	
APROBO		5/12/28		



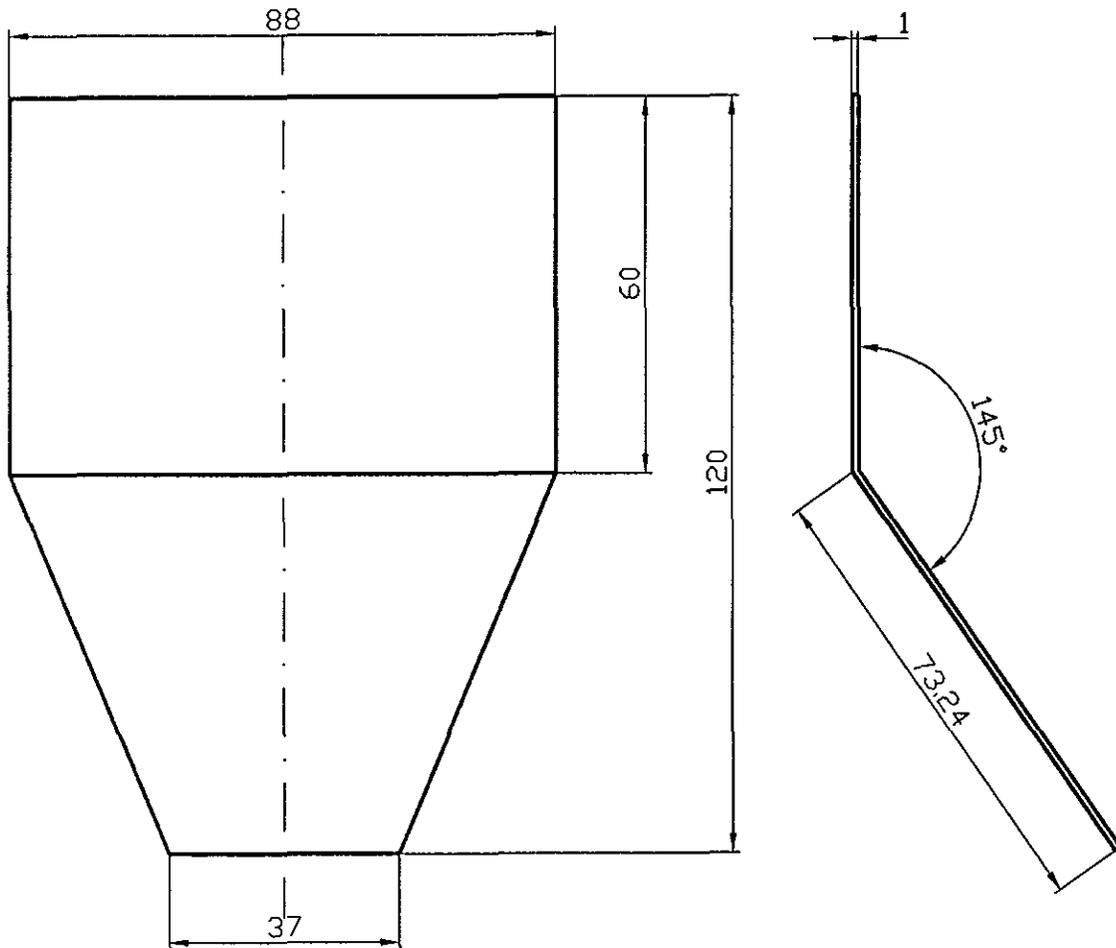
REQUISITOS TECNICOS

- Longitud del alambre = 25 mm
- Número de espiras activas = 6
- Número de espiras inactivas = 2

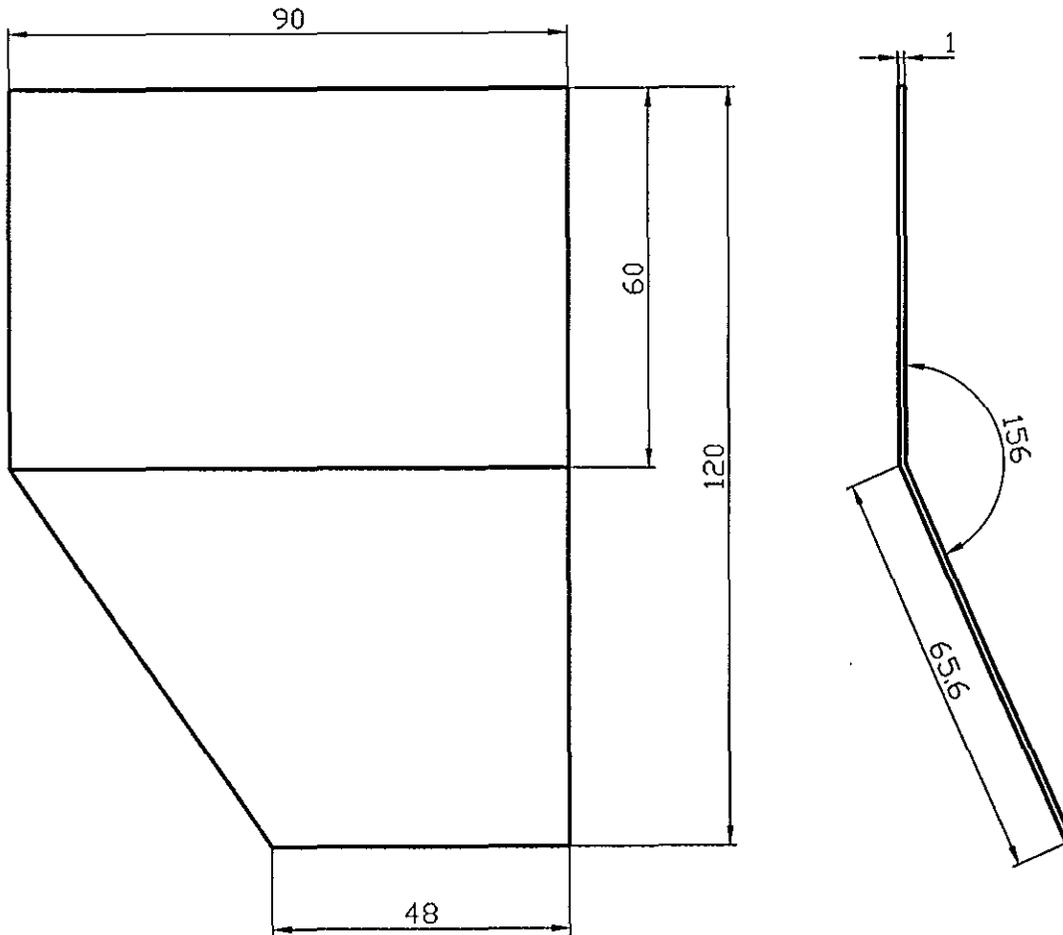
MET. DE PROY.		ESCALA	ACOTACION	TEXTURA	TOLERANCIAS		
		1:1	MM	R60 / (✓)	GENERALES	GEOMETRICAS	
					IT11		
LAMINA	HOJA	MATERIAL	RESORTE A TORSION (PLANO DE PIEZA)				
A0	8/37	ALAMBRE ESTI RADO DURO					
PARTICIPO	APELLIDO	FIRMA					FECHA
ELABORO	TORRES						05/12/20
DIRECTOR	DR. REYES		05/12/20	0.040 Kg			
ASESOR	DR. MATAMOROS		05/12/20				
APROBO			05/12/20	UNAM-DEPFI		ESPM-10-02-03	



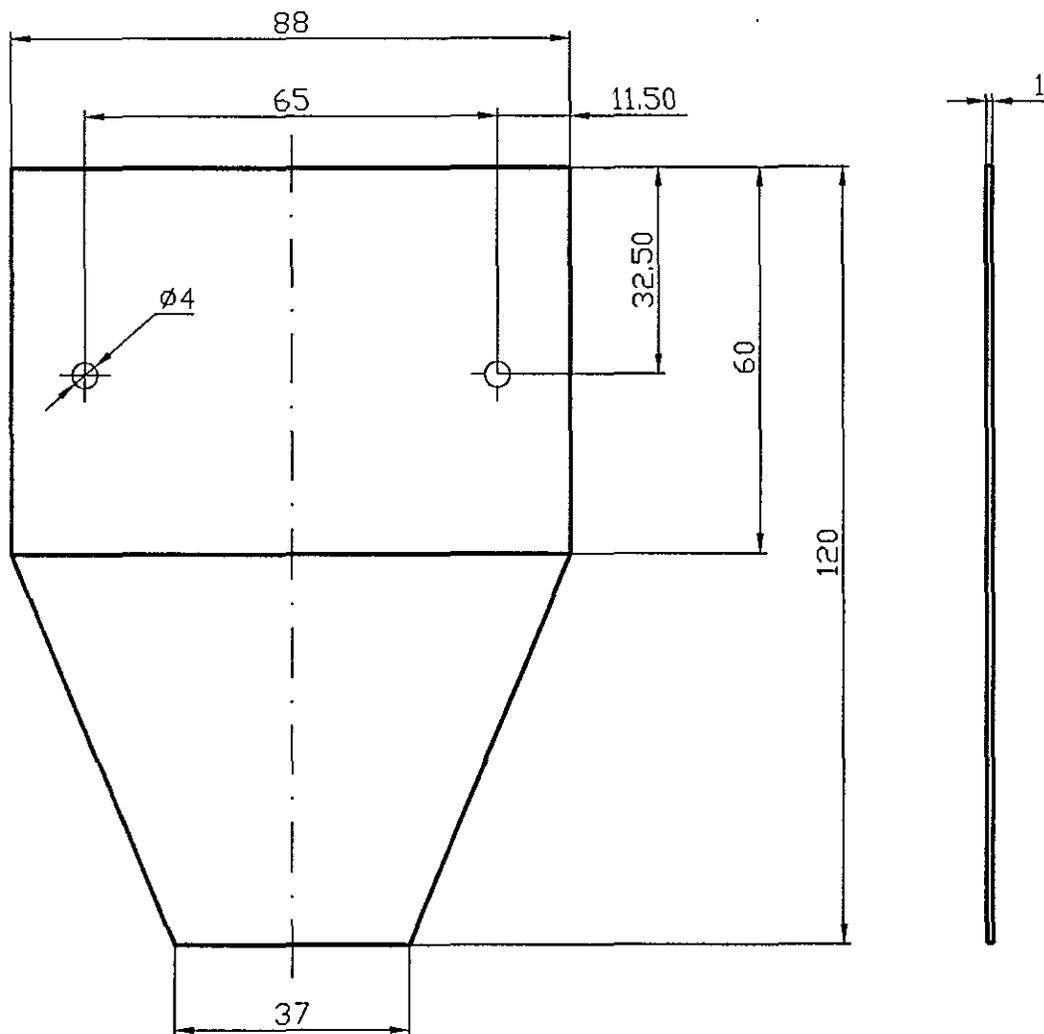
MET. DE PROJ.		ESCALA	ACOTACION	TEXTURA	TOLERANCIAS		
		2:1	MM	R60 / (✓)	GENERALES	GEOMETRICAS	
					IT11		
LAMINA	HOJA	MATERIAL		<h1>TOLVA</h1> <p>(PLANO DE PIEZA)</p>			
A0	9/37	LAMINA GALVANIZADA CALIBRE 12					
PARTICIPO	APELLIDO	FIRMA	FECHA				
ELABORO	TORRES		05/12/20				
DIRECTOR	DR. RIVERO		05/12/20	0.200 Kg			
ASESOR	DR. MATAMOROS		05/12/20				
APROBO			05/12/20	UNAM-DEPFI		ESPM-10-03-00	



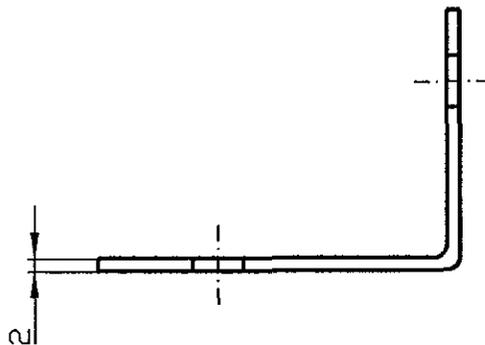
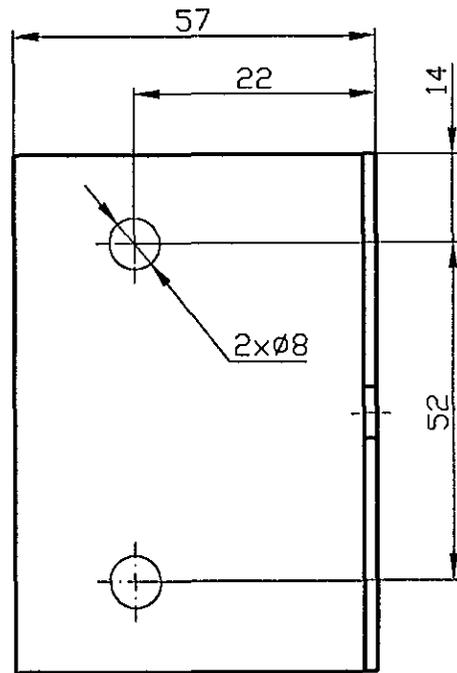
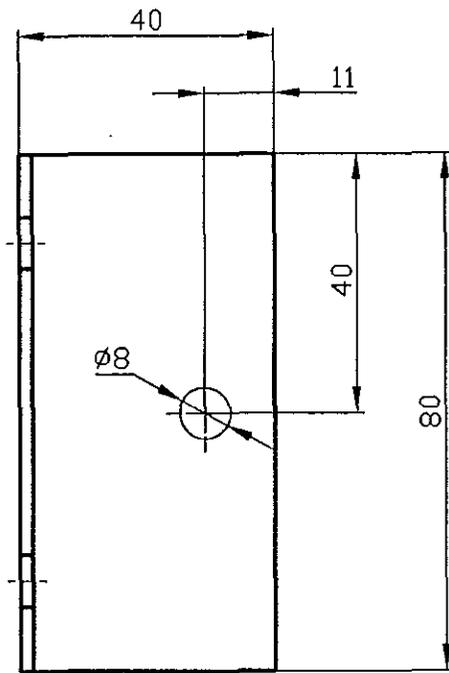
MET. DE PROY.		ESCALA	ACOTACION	TEXTURA	TOLERANCIAS	
		2:1	MM	R60 / (✓)	GENERALES	GEOMETRICAS
					IT11	
LAMINA	HOJA	MATERIAL		LATERAL IZQUIERDO DE LA TOLVA (PLANO DE PIEZA)		
A0	11/37	LAMINA GALVANIZADA CALIBRE 12				
PARTICIPO	APELLIDO	FIRMA	FECHA			
ELABORO	TORRES		05/12/20			
DIRECTOR	DR. REYES		05/12/20	0.070 Kg		
ASESOR	DR. MATEMATA		05/12/20			
APROBO			05/12/20	UNAM-DEPFI	ESPM-10-03-01	



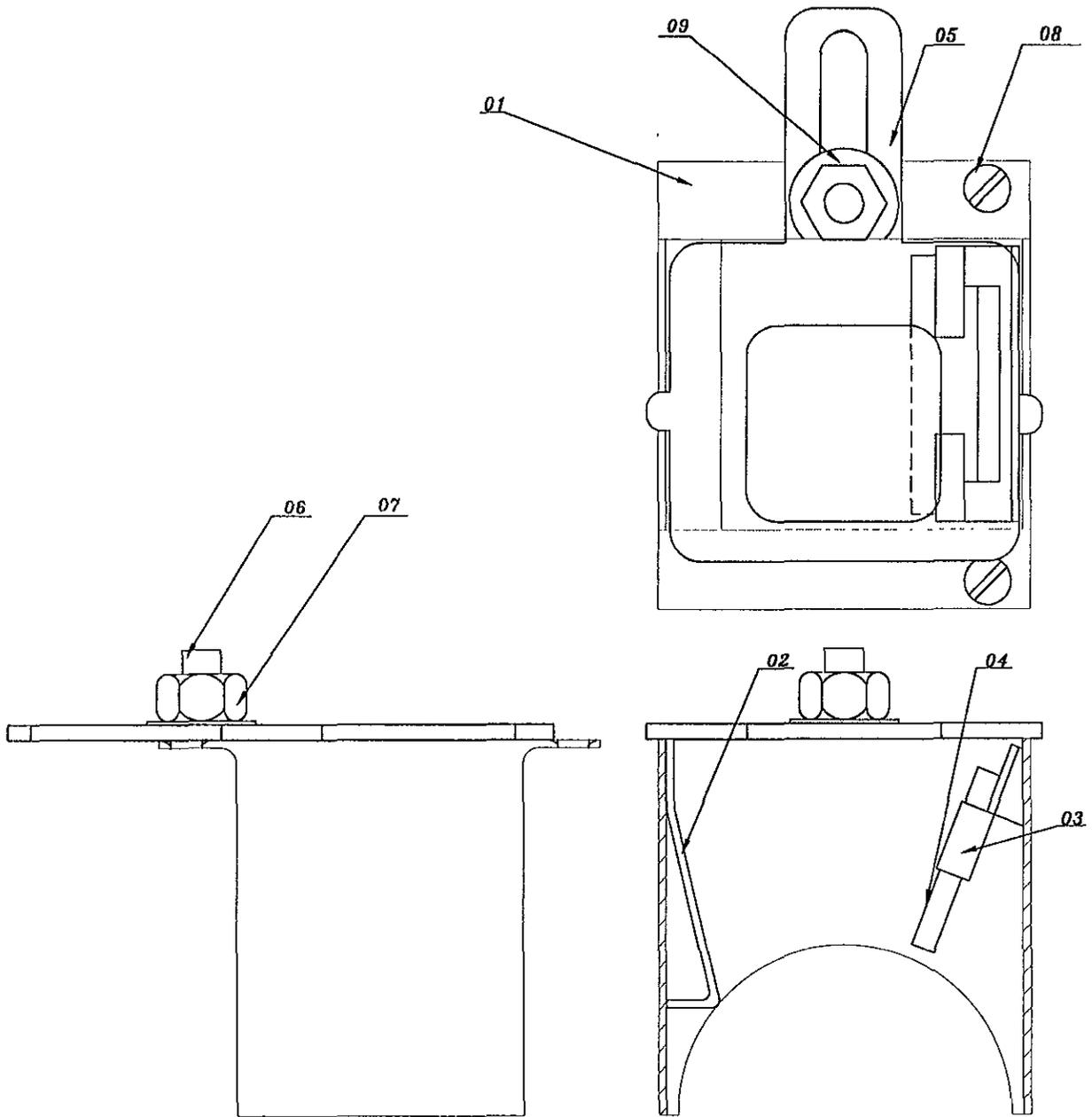
MET. DE PROY.		ESCALA	ACOTACION	TEXTURA	TOLERANCIAS	
					GENERALES	GEOMETRICAS
		2:1	MM	R60 / (✓)	IT11	
LAMINA		HOJA	MATERIAL			
A0		12/37	LAMINA GALVANIZADA CALIBRE 12			
PARTICIPO	APELLIDO	FIRMA	FECHA	PARETE FRONTAL DE LA TOLVA (PLANO DE PIEZA)		
ELABORO	TORRES		05/15/20			
DIRECTOR	DR. RRYES		05/12/20			
ASESOR	DR. RYANANIS		05/12/20			
APROBO			05/12/20			
				0.065 Kg		
				UNAM-DEPFI	ESPM-10-03-02	



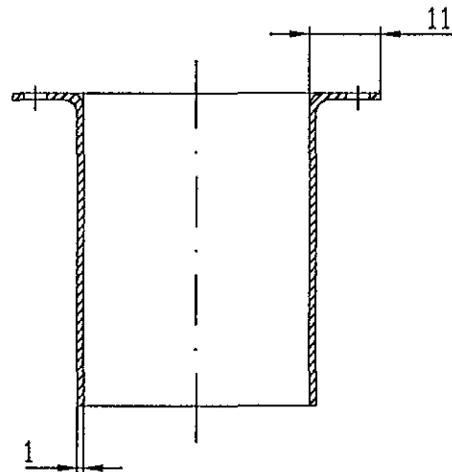
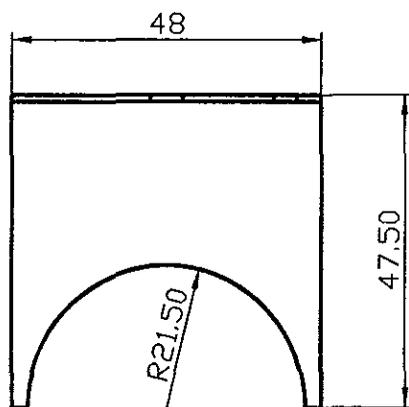
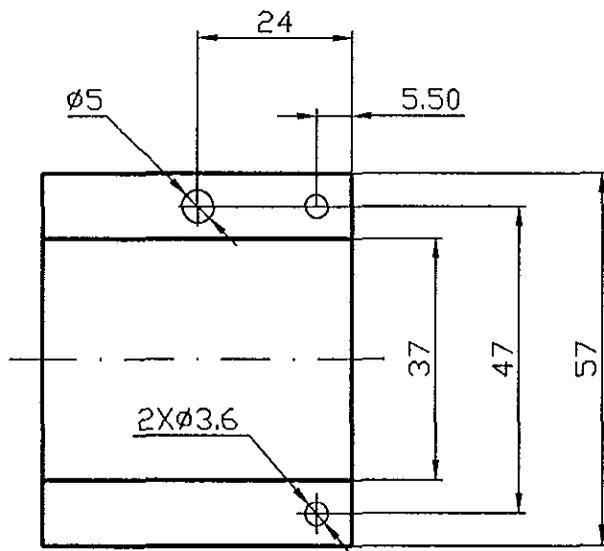
MET. DE PROY.		ESCALA	ACOTACION	TEXTURA	TOLERANCIAS	
		2:1	MM	R60 / (✓)	GENERALES	GEOMETRICAS
					IT11	
LAMINA	HOJA	MATERIAL		LATERAL DERECHO DE LA TOLVA (PLANO DE PIEZA)		
A0	13/37	LAMINA CALVANIZADA CALIBRE 12				
PARTICIPO	APELLIDO	FIRMA	FECHA			
ELABORO	TORRES		05/12/20			
DIRECTOR	DR. REYES		05/12/20	0.070 Kg		
ASESOR	DR. MAYANQUE		05/12/20			
APROBO			05/12/20	UNAM-DEPFI		ESPM-10-03-03



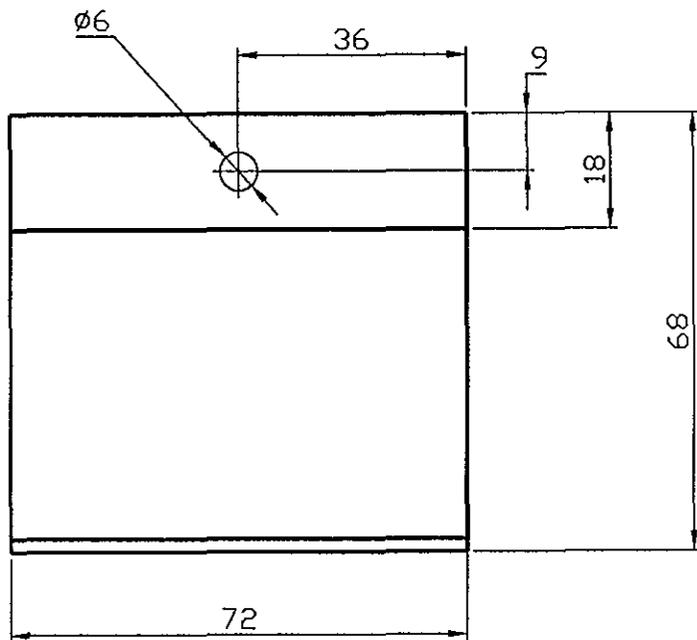
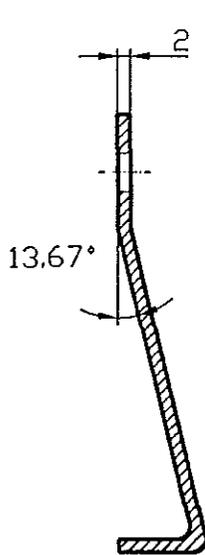
MET. DE PROY.		ESCALA		ACOTACION		TEXTURA		TOLERANCIAS	
		2:1		MM		R60 / (✓)		GENERALES	
LAMINA		HOJA		MATERIAL				GEOMETRICAS	
A0		14/37		LAMINA GALVANIZADA CALIBRE 12		FIJADOR DE LA TOLVA (PLANO DE PIEZA)			
PARTICIPO		APELLIDO		FIRMA					
ELABORO		TORRES				05/12/20		0.065 Kg	
DIRECTOR		DR. REYES				05/12/20			
ASESOR		DR. MATAMOROS				05/12/20			
APROBO						05/12/20			
UNAM-DEPFI						ESPM-10-03-04			



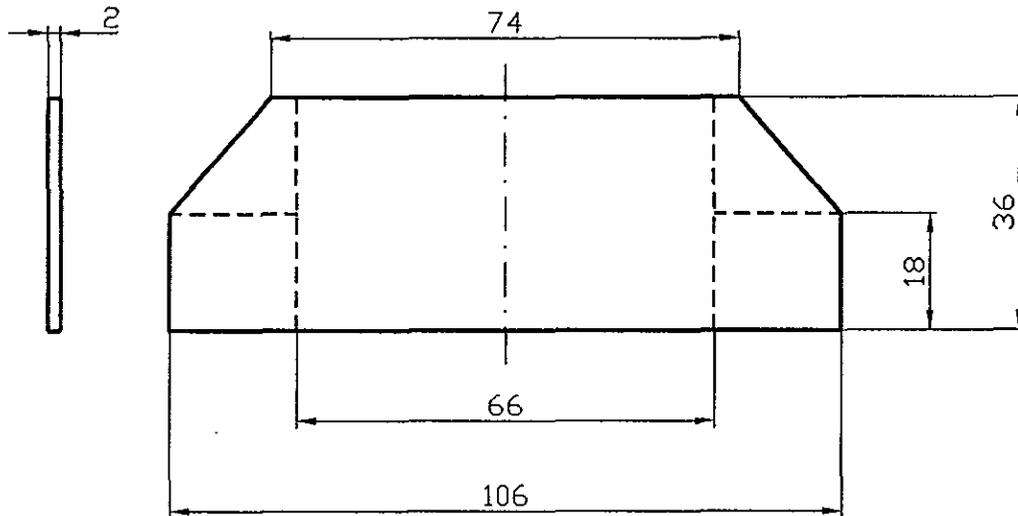
MET DE PROJ		ESCALA	ACOTACION	TEXTURA	TOLERANCIAS	
		2:1	MM	R 40 / (✓)	GENERALES	GEOMETRICAS
LAMINA		HOJA	MATERIAL	IT 12		
A3		15/37		CAJA DEL DOSIFICADOR (PLANO DE CONJUNTO)		
PARTICIPO	APELLIDO	FIRMA	FECHA			
ELABORO	TORRES		05/12/20			
DIRECTOR	DR. REYES		05/12/20			
ASESOR	DR. MATADAMAS		05/12/20			
APROBO			05/12/20			
				UNAM-DEPFI		ESPM-10-04-00



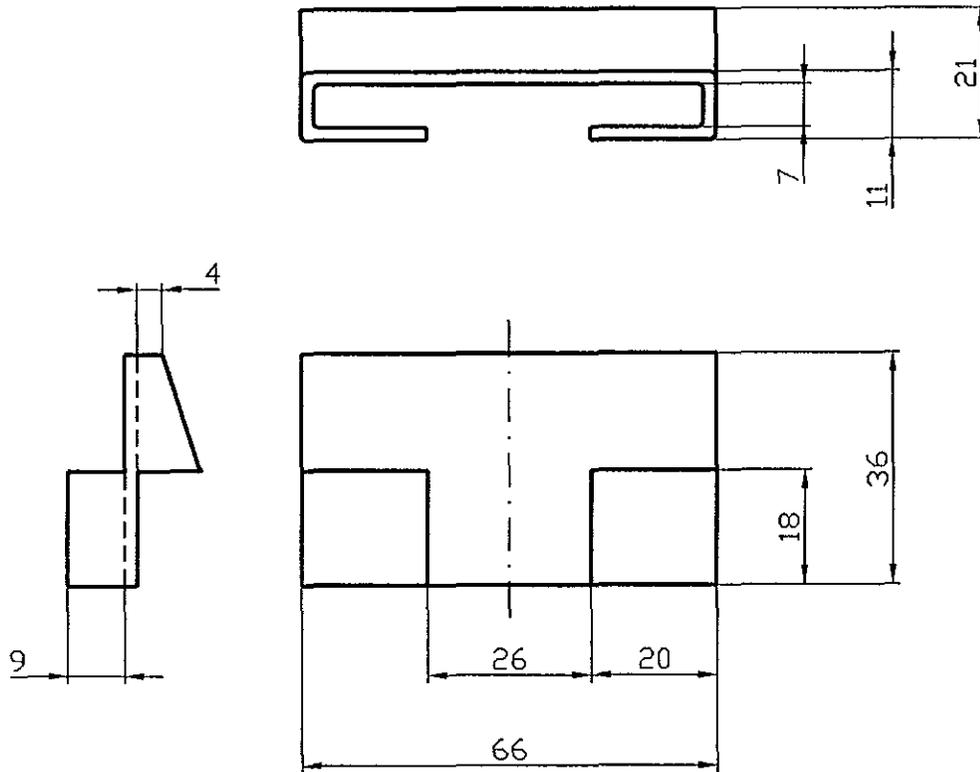
MET. DE PROY.		ESCALA	ACOTACION	TEXTURA	TOLERANCIAS	
		1:1	MM	R60 / (✓)	GENERALES	GEOMETRICAS
					IT11	
LAMINA	HOJA	MATERIAL		CAJA (PLANO DE PIEZA)		
A0	17/37	LAMINA GALVANIZADA CALIBRE 12				
PARTICIPO	APELLIDO	FIRMA	FECHA			
ELABORO	TORRES		05/12/20			
DIRECTOR	DR. REYES		05/12/20	0.040 Kg		
ASESOR	DR. MIPARENAS		05/12/20			
APROBO			05/12/20	UNAM-DEPFI		ESPM-10-04-01



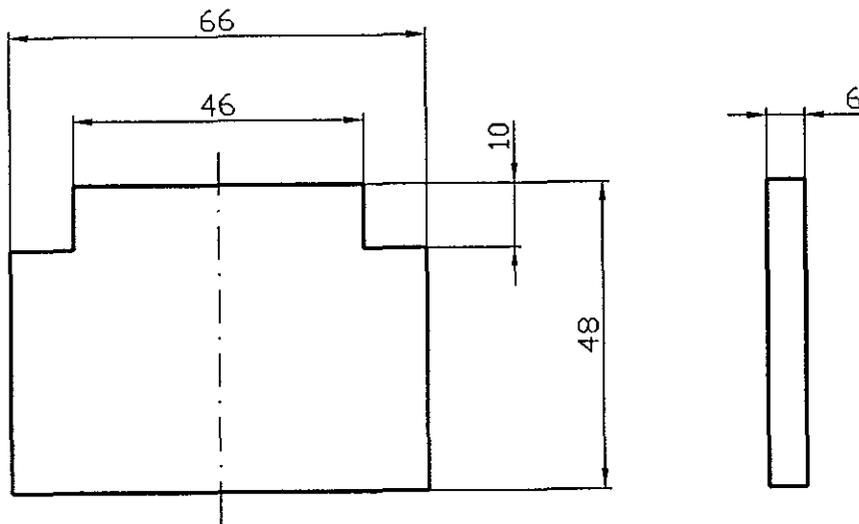
MET. DE PROY.		ESCALA	ACOTACION	TEXTURA	TOLERANCIAS	
		2:1	MM	R60 / (✓)	GENERALES	GEOMETRICAS
					IT11	
LAMINA		HOJA	MATERIAL			
A0		18/37	LAMINA GALVANIZADA CALIBRE 12 PLACA DE PARED (PLANO DE PIEZA)			
PARTICIPO	APELLIDO	FIRMA	FECHA	0.040 Kg		
ELABORO	TORRES		05/12/20			
DIRECTOR	DR. REYES		05/12/20			
ASESOR	DR. NAYANAY		05/12/20			
APROBO			05/12/20	UNAM-DEPFI		ESPM-10-04-02



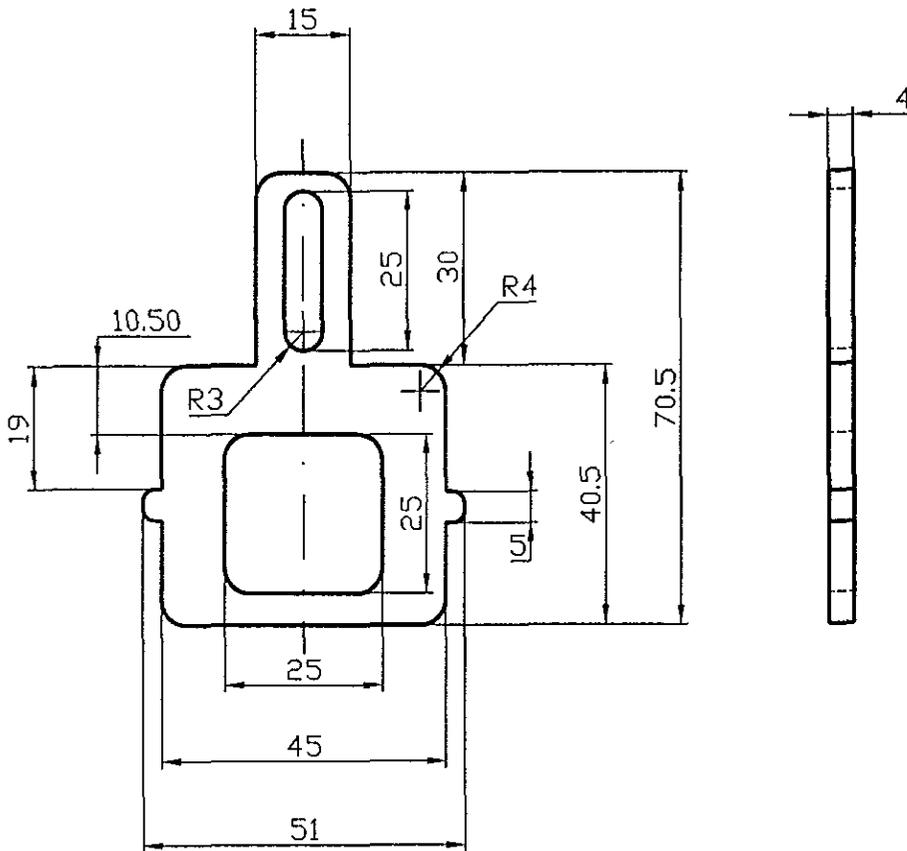
MET. DE PROY.		ESCALA	ACOTACION	TEXTURA	TOLERANCIAS	
		2:1	MM	R60 / (✓)	GENERALES	GEOMETRICAS
					IT11	
LAMINA		HOJA	MATERIAL	SOPORTE DEL RASADOR (PLANO DE PIEZA EXTENDIDA)		
A0		19/37	LAMINA GALVANIZADA CALIBRE 10			
PARTICIPO	APELLIDO	FIRMA	FECHA	0.020 Kg		
ELABORO	TORRES		05/12/20			
DIRECTOR	DR. REYES		05/12/20	UNAM-DEPFI		
ASESOR	DR. MAYABANAS		05/12/20			
APROBO			05/12/20	ESPM-10-04-03		



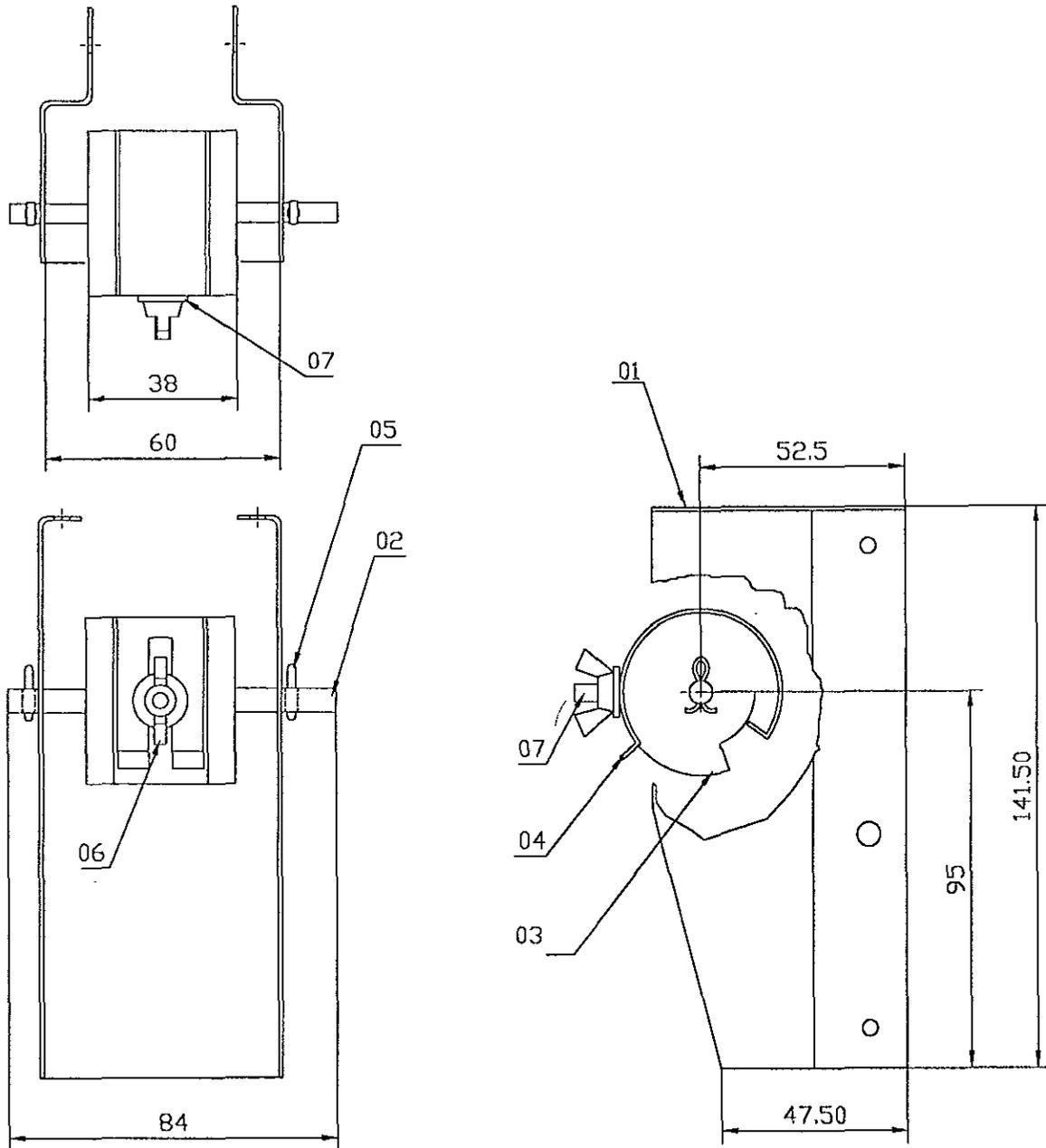
MET. DE PROY.		ESCALA	ACOTACION	TEXTURA	TOLERANCIAS	
		2:1	MM	R60/(√)	GENERALES	GEOMETRICAS
					IT11	
LAMINA		HOJA	MATERIAL	SOPORTE DEL RASADOR (PLANO DE PIEZA)		
A0		20/37	LAMINA GALVANIZADA CALIBRE 10			
PARTICIPO	APELLIDO	FIRMA	FECHA			
ELABORO	TORRES		05/12/20			
DIRECTOR	DR. REYES		05/12/20			
ASESOR	DR. MARTINEZ		05/12/20			
APROBO			05/12/20	UNAM-DEPFI		ESPM-10-04-03
			0.020 Kg			



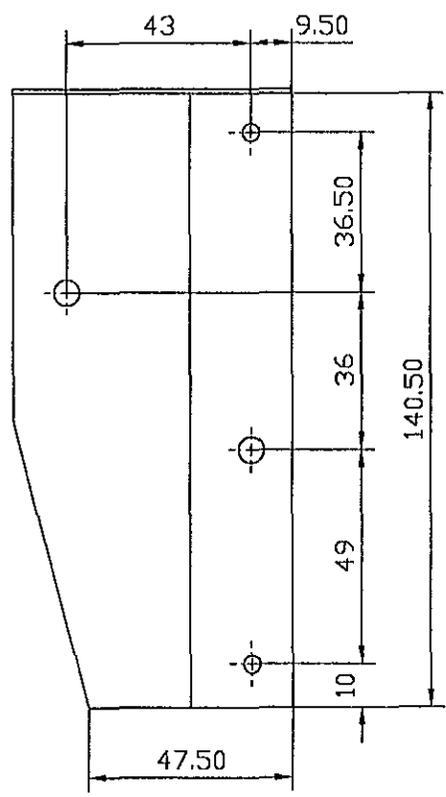
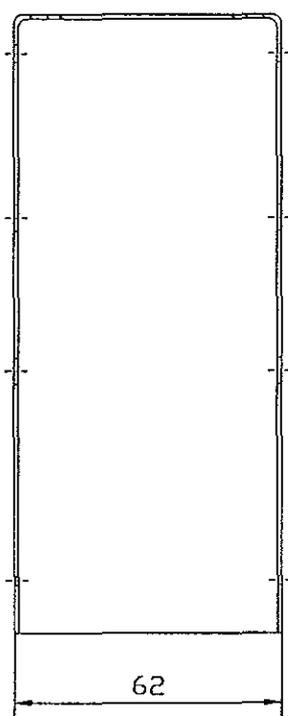
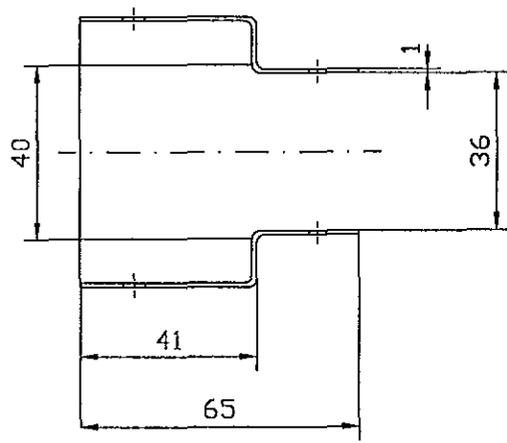
MET. DE PROY.		ESCALA	ACOTACION	TEXTURA	TOLERANCIAS	
					GENERALES	GEOMETRICAS
		2:1	MM	R60 / (✓)	IT11	
LAMINA		HOJA	MATERIAL		RASADOR (PLANO DE PIEZA)	
A0		21/37	HULE CALIBRE 8			
PARTICIPO	APELLIDO	FIRMA	FECHA	0.015 Kg		
ELABORO	TORRES		05/12/20			
DIRECTOR	DR. REYES		05/12/20			
ASESOR	DR. MARRANAS		05/12/20			
APROBO			05/12/20			
				UNAM-DEPFI	ESPM-10-04-04	



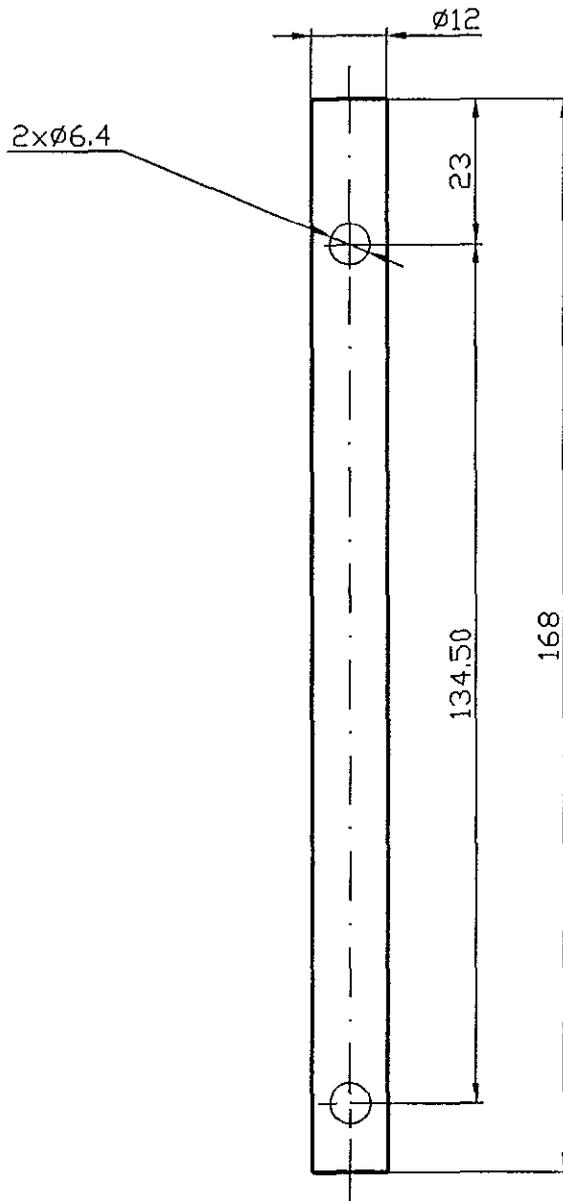
MET. DE PROY.		ESCALA	ACOTACION	TEXTURA	TOLERANCIAS	
		1:1	MM	R60 / (✓)	GENERALES	GEOMETRICAS
					IT11	
LAMINA		HOJA	MATERIAL	PLACA REGULADORA (PLANO DE PIEZA)		
A0		22/37	NYLACERO-6			
PARTICIPO	APELLIDO	FIRMA	FECHA			
ELABORO	TORRES		05/12/20			
DIRECTOR	DR. REYES		05/12/20			
ASESOR	DR. MAZAMAS		05/12/20	0.040 Kg		
APROBO			05/12/20	UNAM-DEPFI		ESPM-10-04-05



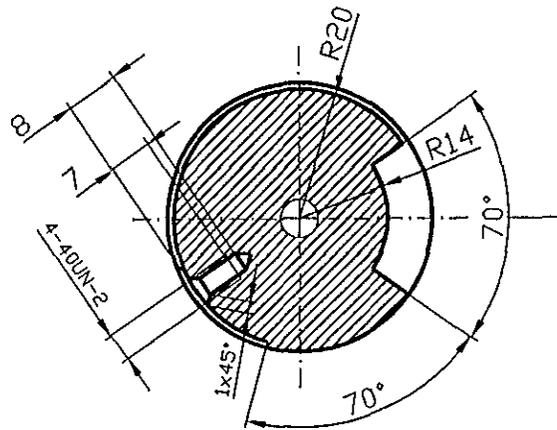
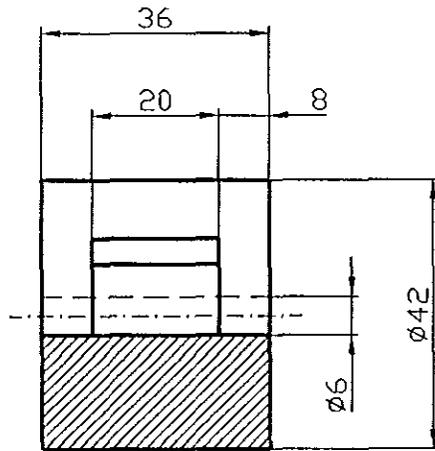
MET DE PROY		ESCALA	ACOTACION	TEXTURA	TOLERANCIAS	
		3:1	MM		GENERALES	GEOMETRICAS
					IT 12	
LAMINA		HOJA	MATERIAL	SISTEMA DE DE DOSIFICACION (PLANO DE CONJUNTO)		
A3		23/37				
PARTICIPO	APELLIDO	FIRMA	FECHA			
ELABORO	TORRES		05/12/20			
DIRECTOR	DR. REYES		05/12/20			
ASESOR	DR. MATAMAS		05/12/20			
APROBO			05/12/20			
				UNAM-DEPFI		ESPM-10-05-00



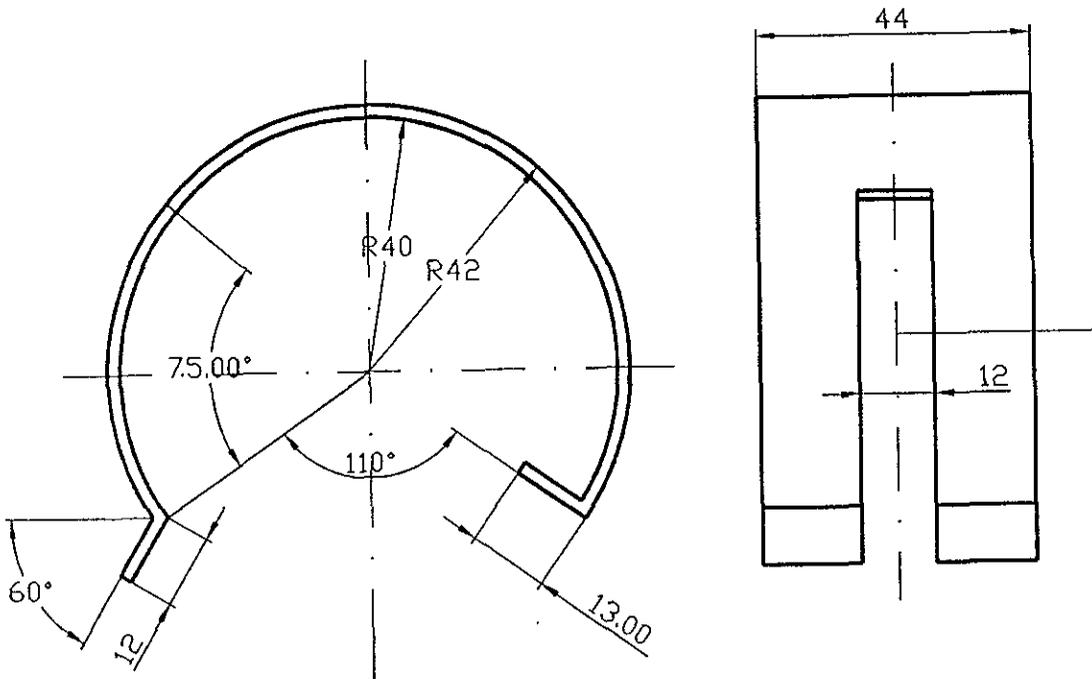
MET DE PROJ		ESCALA		ACOTACION		TEXTURA		TOLERANCIAS	
		3:1		MM		R 40 / (✓)		GENERALES GEOMETRICAS	
LAMINA		HOJA		MATERIAL		<p style="text-align: center;">SOPORTE-GUÍA (PLANO DE PIEZA)</p>		IT 12	
A3		25/37		LAMINA GALVANIZADA CALIBRE 12					
PARTICIPO	APELLIDO	FIRMA	FECHA	0.256 Kg					
ELABORO	TORRES		05/12/20						
DIRECTOR	DR. REYES		05/12/20						
ASESOR	DR. MATADAMAS		05/12/20						
APRODO			05/12/20	UNAM-DEPFI			ESPM-10-05-01		



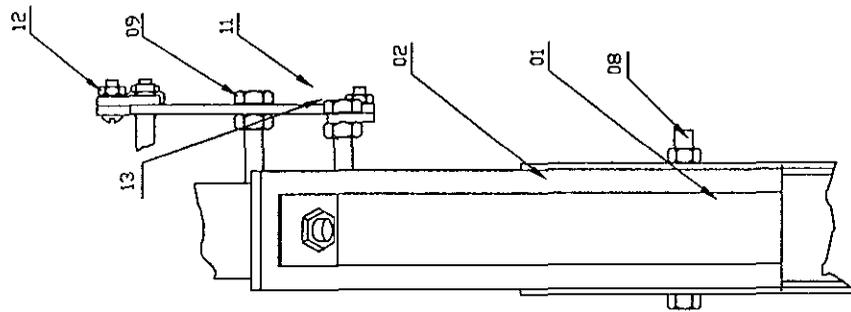
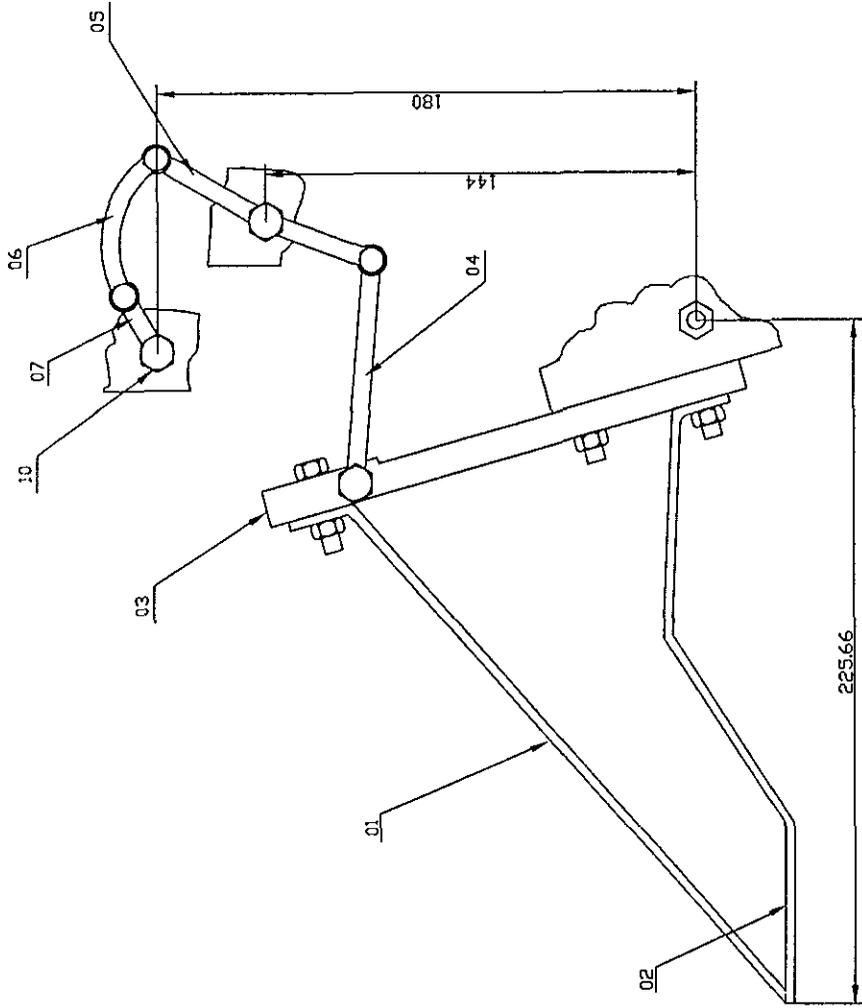
MET. DE PROY.		ESCALA	ACOTACION	TEXTURA	TOLERANCIAS	
					GENERALES	GEOMETRICAS
		2:1	MM	R60 / (✓)	IT11	
LAMINA		HOJA	MATERIAL			
A0		26/37	BARRA REDONDA ACERO 1018			
EJE DEL DOSIFICADOR (PLANO DE PIEZA)						
PARTICIPÓ	APELLIDO	FIRMA	FECHA			
ELABORO	TORRES		05/12/20			
DIRECTOR	DR. REYES		05/12/20			
ASESOR	DR. MATEOS		05/12/20			
APROBO			05/12/20	UNAM-DEPFI		ESPM-10-05-02



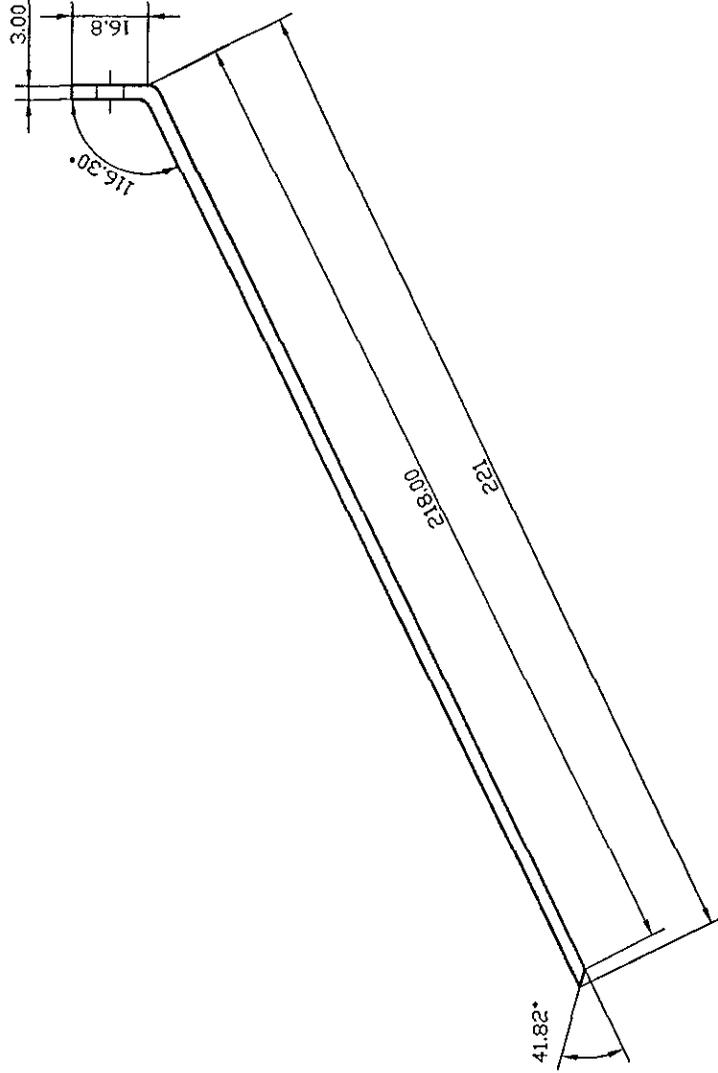
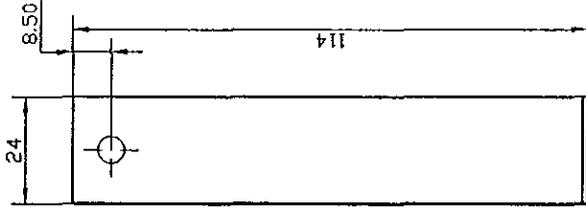
MET. DE PROJ.		ESCALA	ACOTACION	TEXTURA	TOLERANCIAS	
		1:1	MM	R60 / (✓)	GENERALES	GEOMETRICAS
					IT11	
LAMINA	HOJA	MATERIAL		RODILLO DOSIFICADOR (PLANO DE PIEZA)		
A0	27/37	NYLACERO-6				
PARTICIPO	APELLIDO	FIRMA	FECHA			
ELABORO	TORRES		05/12/20			
DIRECTOR	DR. REYES		05/12/20			
ASESOR	DR. MATEMOS		05/12/20			
APROBO			05/12/20	UNAM-DEPFI		ESPM-10-05-03
				0.08 Kg		



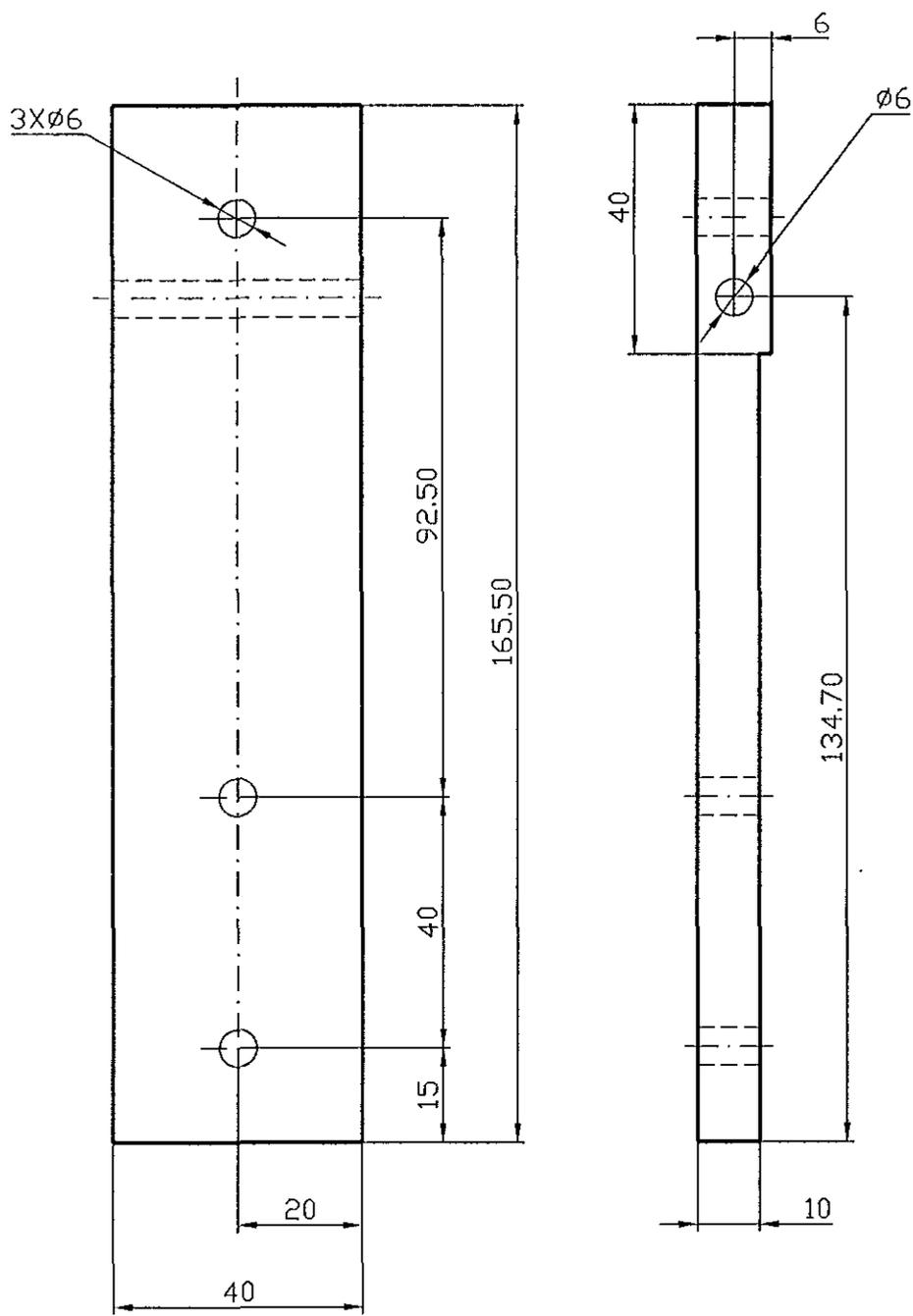
MET. DE PROY.		ESCALA	ACOTACION	TEXTURA	TOLERANCIAS	
		2:1	MM	R60 / (✓)	GENERALES	GEOMETRICAS
					IT11	
LAMINA		HOJA	MATERIAL	<p align="center">PLACA DESLIZADOR</p> <p align="center">(PLANO DE PIEZA)</p>		
A0		28/37	LAMINA GALVANIZADA CALIBRE 10			
PARTICIPO	APELLIDO	FIRMA	FECHA			
ELABORO	TORRES		05/12/20			
DIRECTOR	DR. REYES		05/12/20			
ASESOR	DR. MATAMOROS		05/12/20			
APROBO			05/12/20	UNAM-DEPFI		ESPM-10-05-04
				0.065 Kg		



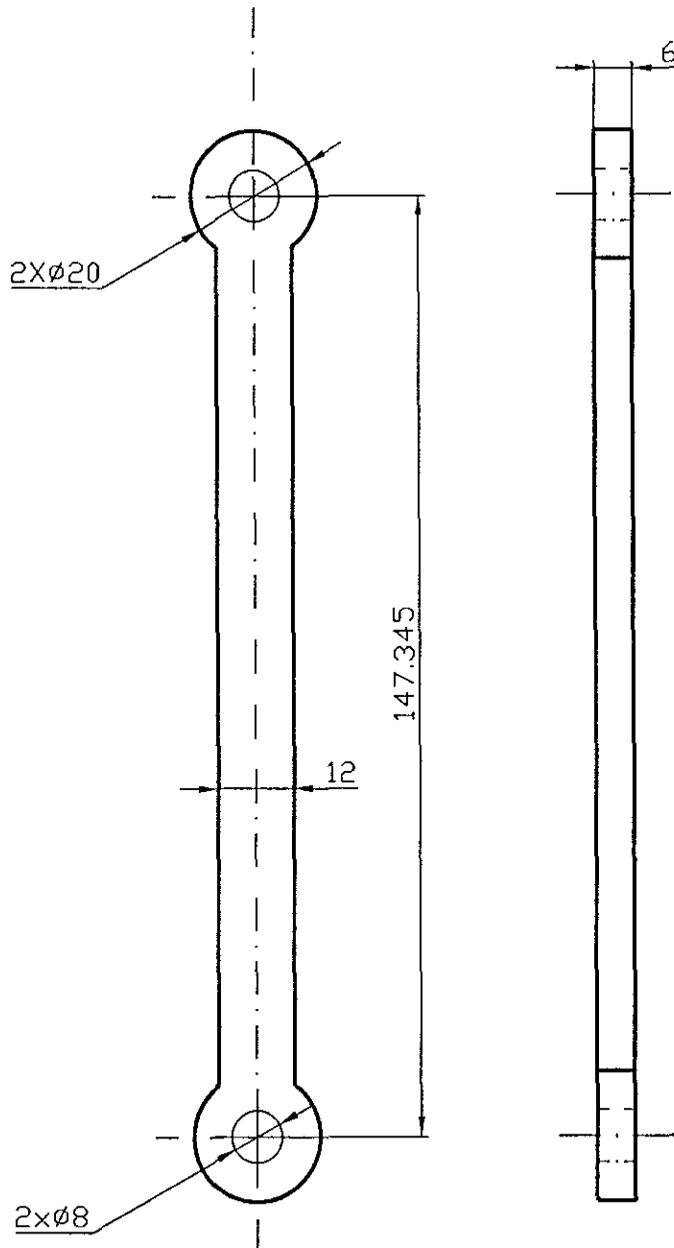
MET. DE PROJ.	ESCALA	ACOTACION	TEXTURA	TOLERANCIAS GENERALES/GEOMETRICAS
	1:1	MM	25/√<v>	IT14
LAMINA	HOJA	MATERIAL		
A3	29/37		MECANISMO	
PARTICIPPELL	FIRMA/FECHA	DE DOSIFICACION Y DEPOSITACION		
ELABORO	TORRES			
DIRECTOR DEL AREA	5/12/20			
ASESOR	5/12/20			
APROBO	5/12/20			
		UNAM-DEPFI ESPM-10-06-00		



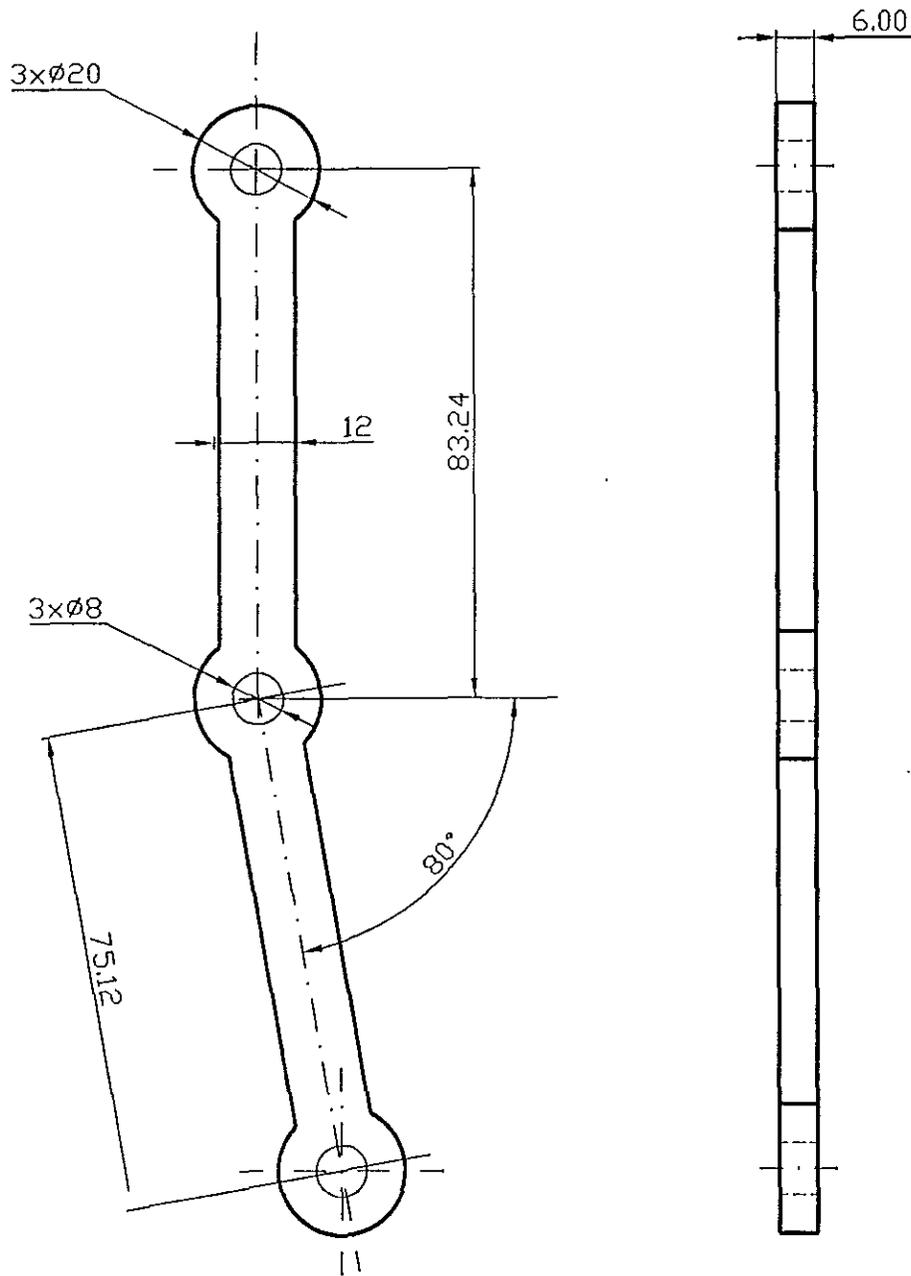
MET DE PROJ	ESCALA	ACOTACION	TEXTURA	TOLERANCIAS GENERALES	TOLERANCIAS GEOMETRICAS
	2:1	<i>mm</i>	$\sqrt{\text{V}}$	IT14	
LAMINA	HOJA	MATERIAL	MANIVELA APOYADOR (PLANO DE PIEZA)		
A3	31/37	ALUMINIO			
PARTICIPAPPELL FIRMAFECHA		0.110 Kg			
ELABORO	TORRES				
DIRECTOR DE REVIS					
ASESOR					
APROBO					
		UNAM-DEPFI		ESPM-10-06-01	



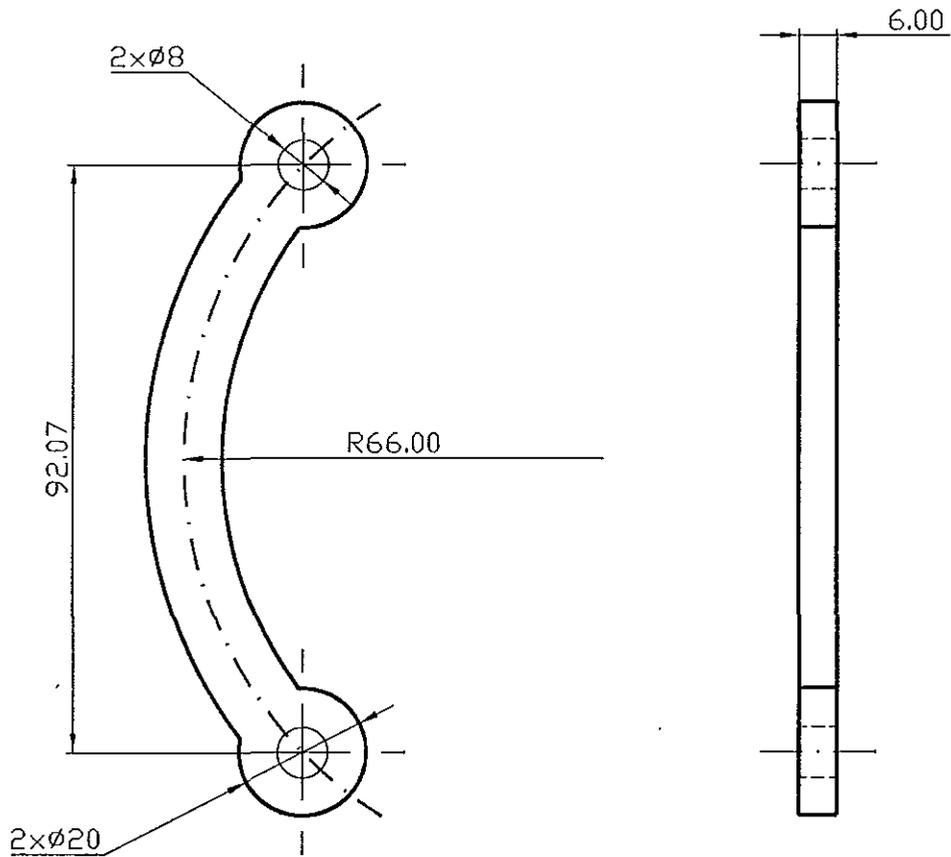
MET. DE PROY.		ESCALA		ACOTACION		TEXTURA		TOLERANCIAS	
		1:1		MM		R60 / (✓)		GENERALES GEOMETRICAS	
LAMINA		HOJA		MATERIAL		ESLABON DE ENTRADA L2 (PLANO DE PIEZA)			
A0		33/37		MADERA DE CAOBA O CEDRO					
PARTICIPO		APELLIDO		FIRMA					
ELABORO		TORRES				05/12/20		0.08 Kg	
DIRECTOR		DR. REYES				05/12/20			
ASESOR		DR. MAYANAMA				05/12/20			
APROBO						05/12/20		UNAM-DEPFI	
								ESPM-10-06-03	



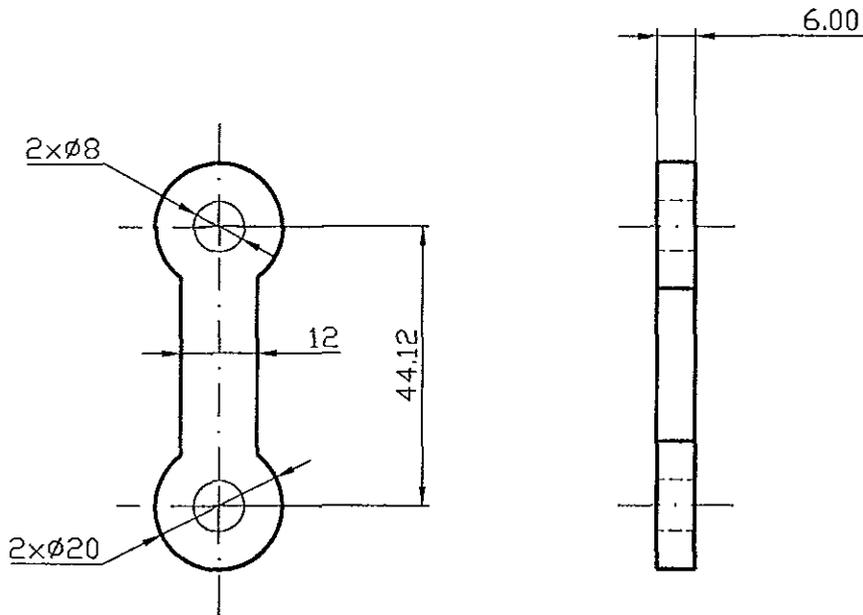
MET. DE PROY.		ESCALA	ACOTACION	TEXTURA	TOLERANCIAS	
		2:1	MM	R60 / (✓)	GENERALES	GEOMETRICAS
LAMINA					HOJA	MATERIAL
A0		34/37	NYLACERO-6	ESLABON ACOPLADOR L3 (PLANO DE PIEZA)		
PARTICIPO	APELLIDO	FIRMA	FECHA			
ELABORO	TORRES		05/12/20			
DIRECTOR	DR. REYES		05/12/20			
ASESOR	DR. KIYAMAKI		05/12/20	0.08 Kg		
APROBO			05/12/20	UNAM-DEPFI		ESPM-10-06-04



MET. DE PROJ.		ESCALA	ACOTACION	TEXTURA	TOLERANCIAS	
		2:1	MM	R60 / (✓)	GENERALES	GEOMETRICAS
LAMINA					HOJA	MATERIAL
A0		35/37	NYLACERO-6	ESLABON CONDUCTORA L8 (PLANO DE PIEZA)		
ELABORO	TORRES		0.08 Kg			
DIRECTOR	DR. REYES					
ASESOR	DR. MATIAS					
APROBO				UNAM-DEPFI		ESPM-10-06-05



MET. DE PROY.		ESCALA	ACOTACION	TEXTURA	TOLERANCIAS	
		2:1	MM	R60 / (✓)	GENERALES	GEOMETRICAS
					IT11	
LAMINA		HOJA	MATERIAL		ESLABÓN ACOPLADOR L7 (PLANO DE PIEZA)	
A0		36/37	NYLACERO-6			
			0.08 Kg			
PARTICIPO	APELLIDO	FIRMA	FECHA			
ELABORO	TORRES		05/12/20			
DIRECTOR	DR. REYES		05/12/20			
ASESOR	DR. MATAMIAS		05/12/20			
APROBO			05/12/20	UNAM-DEPFI	ESPM-10-06-06	



MET. DE PROY.		ESCALA	ACOTACION	TEXTURA	TOLERANCIAS	
		2:1	MM	R60 / (✓)	GENERALES	GEOMETRICAS
					IT11	
LAMINA		HOJA	MATERIAL	MANIVELA CONDUCCIDA L6 (PLANO DE PIEZA)		
A0		37/37	NYLACERO-6			
PARTICIPO	APELLIDO	FIRMA	FECHA	0.040 Kg		
ELABORO	TORRES		05/12/20			
DIRECTOR	DR. REYES		05/12/20			
ASESOR	DR. MATEOS		05/12/20			
APROBO			05/12/20	UNAM-DEPFI		ESPM-10-06-07