

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

Título: “Diseño mecánico de una máquina sembradora de semillas de quinua con una capacidad de siembra de 01 hectárea por hora y traccionada por un tractor agrícola de 55HP”

Tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico, que presenta el bachiller:

Luis Alonso Salvá Ramos

ASESOR: Mg. Ing. Jorge Hernán Alencastre Miranda

Lima, octubre de 2015

RESUMEN

El presente trabajo presenta el diseño de una máquina sembradora de semillas de quinua con abono, cuya función es diseminar abono y sembrar semillas de quinua en los terrenos de cultivo ayacuchanos. La máquina ha sido diseñada para sembrar semillas de quinua de los principales tipos del departamento de Ayacucho: Blanca de Junín y Amarilla de Marangani.

La máquina sembradora ocupa un espacio de 1,6 m de largo por 1,8 de ancho y 1 m de alto. Las semillas de quinua y el abono serán almacenadas en tolvas y dosificadas mediante rodillos acanalados. En las zonas donde estarán las cadenas, se instalará cobertores para evitar algún daño del mecanismo y/o daño a las personas que operen la máquina. La energía mecánica es suministrada por medio de un tractor SHANGAI 504, el cual posee una potencia de 55 HP. Dicho tractor tendrá por función jalar a la máquina y que esta realice su labor de siembra en los terrenos de cultivo, con una velocidad de avance de 1,39 m/s (5km/h).

Se utilizó la metodología del diseño VDI 2221 para el desarrollo de todo el trabajo desde el planeamiento de los conceptos de solución hasta el desarrollo del proyecto definitivo.

En el primer capítulo de la presente tesis se describe las características de la quinua y parámetros importantes sobre el cultivo. El segundo capítulo, denominado “Concepción del diseño”, contiene la elaboración de los conceptos de solución y selección de concepto de solución óptimo. El tercer capítulo comprende los cálculos de los componentes de la máquina y la selección de elementos normalizados

La memoria del diseño es acompañada de los planos de ensamble y despiece.

Finalmente, se realizará un análisis económico de la fabricación de la máquina en base a precios, proformas realizadas por empresas de metal mecánica de nuestro medio, etc.

Se adjuntará al trabajo, observaciones, conclusiones y anexos utilizados.



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
 FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

TÍTULO : DISEÑO DE UNA MÁQUINA SEMBRADORA DE SEMILLAS DE QUINUA CON CAPACIDAD DE 01 Ha/h TRACCIONADA POR UN TRACTOR AGRICOLA DE 55 HP

ÁREA : Diseño # 299

PROPUESTO POR : Ing. Jorge Alencastre Miranda

ASESOR : Ing. Jorge Alencastre Miranda

TESISTA : Luis Alonso Salvá Ramos

CÓDIGO : 20090450

FECHA : 06 de Mayo del 2015



DESCRIPCIÓN Y OBJETIVOS:

En los valles interandinos, comprendidos entre los 2800 a 3,500 m.s.n.m (provincia de Ayacucho) la siembra, cosecha y comercialización de quinua constituye una de las principales actividades económicas de la población. En el Perú se ha registrado un crecimiento de la producción en los últimos 10 años de 20000 a 48000 toneladas. Para satisfacer la demanda de dicho producto se requiere una buena productividad, para ello es necesario realizar la siembra mediante métodos y formas tecnificadas que puedan mejorar el proceso de cultivo de dicha planta.

La propuesta de Tesis propone el diseño de una sembradora de semillas de quinua, que se acople a un tractor agrícola de 55 Hp, Modelo Shanghai 504, que se utiliza en dicha zona. La capacidad de dicha máquina será de 1Ha/h, disminuyendo sustancialmente el tiempo de sembrío, así como los costos de sembrío cuando se realiza en forma manual y mejorando todo el sistema agrícola de sembrío.

Adicionalmente el diseño contemplara que la fabricación se pueda realizar en talleres mecánicos convencionales que se encuentran en el departamento de Ayacucho y que el costo sea accesible a la economía de los productores de quinua de la zona.






PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

**DISEÑO DE UNA MÁQUINA SEMBRADORA DE SEMILLAS DE
QUINUA CON CAPACIDAD DE 01 Ha/h TRACCIONADA POR UN
TRACTOR AGRICOLA DE 55 HP**

Introducción

1. QUINUA, CARACTERISTICAS Y PARAMETROS DE SIEMBRA
2. CONCEPCIÓN DEL DISEÑO
3. INGENIERIA DE DETALLE
4. COSTOS DE FABRICACIÓN

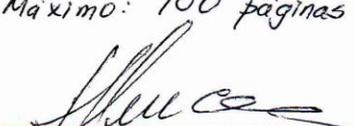
Observaciones y Recomendaciones

Conclusiones

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

Máximo: 100 páginas


Ing. Jorge Alencastre Miranda
Asesor





AGRADECIMIENTOS

A mis padres por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo.

A mis hermanos que han estado siempre presentes, acompañándome para poderme realizar.

A todos aquellos familiares que no recordé al momento de escribir esto. Ustedes saben quiénes son.

A mis compañeros que nos apoyamos mutuamente en nuestra formación profesional y que hasta ahora, seguimos siendo amigos.

Al Sr. Amador de la Cruz, productor de quinua en Ayacucho, por permitirme el ingreso a sus terrenos de cultivo y brindar valiosa información referida al proceso de siembra.

Al Ing. Jorge Alencastre, asesor de la tesis, por su valiosa guía y asesoramiento a la realización de la misma.

INDICE

INTRODUCCION.....	1
OBJETIVOS.....	3
CAPITULO 1	4
1. QUINUA, CARACTERÍSTICAS Y PARÁMETROS DE CULTIVO	4
1.1 PROPIEDADES Y CARACTERISITICAS DE LA QUINUA	4
1.1.1. Generalidades de la quinua	5
1.2. VARIEDADES DE SEMILLA DE QUINUA EN EL DEPT. DE AYACUCHO	6
1.2.1. Tipo de quinua: Quinua de Valle.....	6
1.2.2. Tipos de semilla.....	6
1.2.3. Características de semilla.....	7
1.2.4. Zona de cultivo	8
1.3. ELECCION Y PREPARACION DEL SUELO	8
1.3.1. Elección del terreno	8
1.3.2. Preparación del suelo antes del cultivo	8
1.4. SIEMBRA.....	9
1.4.1. Calidad de la semilla.....	9
1.4.2. Función de la siembra mecanizada	9
1.4.3. Consideraciones técnicas	9
1.4.4. Siembra de quinua en Ayacucho.....	10
CAPITULO 2	11
2. CONCEPCION DEL DISEÑO	11
2.1. ESTADO DEL ARTE	11
2.1.1. Técnicas artesanales de siembra en Ayacucho	11
2.1.2. Máquinas existentes utilizadas para la siembra de semillas de quinua	13
2.2. LISTA DE EXIGENCIAS	16
2.3. ESTRUCTURA DE FUNCIONES.....	19
2.3.1. Abstracción.....	19
2.3.2. Secuencia y principios tecnológicos.....	19
2.3.3. Fijación de procesos técnicos.....	20

2.3.4. Aplicación de sistemas técnicos y limitaciones.....	21
2.3.5. Agrupación de la estructura de funciones	21
2.3.6. Representación de la estructura de funciones	22
2.3.7. Elección de la estructura de funciones	27
2.4. MATRIZ MORFOLÓGICA	28
2.5. CONCEPTOS SOLUCIÓN.....	29
2.5.1. Concepto solución 1:.....	29
2.5.2. Concepto solución 2:.....	30
2.5.3. Concepto solución 3:.....	31
2.5.4. Concepto solución 4:.....	32
2.5.5. Concepto solución 5:.....	33
2.6. EVALUACIÓN PRELIMINAR DE LOS CONCEPTOS DE SOLUCION.....	34
2.7. PROYECTO PRELIMINAR	35
2.7.1. Alternativa 01.....	35
2.7.2. Alternativa 02.....	36
2.7.3. Alternativa 03.....	37
2.8. EVALUACION TÉCNICO-ECONÓMICA.....	38
CAPITULO 3	41
3. INGENIERIA DE DETALLE	41
3.1. FUENTE DE ENERGIA	41
3.2. CAPACIDAD	42
3.3. SISTEMA DE DOSIFICACION SEMILLA.....	46
3.3.1. Dosificador: rodillo acanalado	46
3.3.2. Densidad de siembra.....	46
3.3.3. Número de alvéolos necesarios	48
3.3.4. Volumen de los alvéolos:	49
3.3.5. Torque en el dosificador de semilla	51
3.3.6. Potencia en el dosificador.....	54
3.3.7. Cálculo del árbol de transmisión.....	54
3.3.8. Análisis de fatiga	59

3.3.9. Cálculo de la transmisión por chaveta	61
3.3.10. Selección de los rodamientos	63
3.3.11. Tornillos prisioneros.....	64
3.4. SISTEMA DE DOSIFICACION DE ABONO	65
3.4.1. Densidad de siembra:.....	65
3.4.2. Número de alvéolos:	65
3.4.3. Volumen de los alvéolos	65
3.4.4. Torque en el dosificador	66
3.4.5. Potencia en el dosificador	66
3.4.6. Cálculo de árbol de transmisión.....	66
3.4.7. Análisis de fatiga	66
3.4.8. Cálculo de la transmisión por chaveta	66
3.4.9. Selección de los rodamientos	66
3.3.10. Tornillos prisioneros.....	66
3.5. SELECCIÓN DE CADENAS	67
3.6. SISTEMA DE SURCADO	71
3.7. VERIFICACION DE RODADURA EN LA RUEDA MOTRIZ.....	73
3.7.1. CASO 1: Máquina sin carga	73
3.7.2. CASO 2: Máquina con carga	78
3.8. TOLVAS.....	79
3.9. RUEDA MOTRIZ Y COMPACTADORA	80
3.10. ESTRUCTURA	81
3.11. BARRA CUADRADA DE UNIÓN	84
3.11.1. CASO 1: Máquina traccionada	84
3.11.2. CASO 2: Máquina levantada.....	86
3.12. VERIFICACION DE UNION ATORNILLADA	89
CAPITULO 4	92
4. PLANOS Y COSTOS DE FABRICACIÓN	92
4.1. LISTA DE PLANOS.....	92
4.2. ESTIMADO DE COSTOS DE FABRICACION	93

CONCLUSIONES.....	96
BIBLIOGRAFIA.....	98
ANEXOS.....	100



INTRODUCCION

Perú, país rico en recursos naturales, cuenta con una gran riqueza en flora y fauna debido a las diferentes regiones naturales que posee. Dentro de esta vasta diversidad existen especies vegetales de alto valor nutritivo como la quinua. La quinua es un grano alimenticio que se cultiva ampliamente en la región andina, desde Colombia hasta el norte de la Argentina para condiciones de montañas de altura, aunque existe un tipo que se cultiva en Chile y se produce a nivel del mar. Domesticada por las culturas prehispánicas, se la utiliza en la alimentación desde, por lo menos, unos 3000 años. (TAPIA, 1979)

La quinua es una fuente de almidón, azúcar, fibra, minerales y vitaminas, además contiene más proteínas que ningún otro grano: 16,2 % comparado con un 7,5 % del arroz, y con un 14 % del trigo (YANUQ). Destaca principalmente la calidad de su proteína, que ofrece los aminoácidos esenciales, necesarios en la etapa de crecimiento.

Existen poblaciones con problemas graves de desnutrición, esencialmente en la niñez, que podrían beneficiarse con su consumo. Por otro lado, los cambios en el clima caracterizados por temperaturas extremas, sequías, inundaciones y otros van afectando los cultivos en diversos grados, reduciendo la oferta de alimentos. Considerando este aspecto, la quinua puede ser una alternativa valiosa debido a su tolerancia a sequías y al frío (UNALM, 2013).

Hoy en día, de acuerdo a las estadísticas del Ministerio de Agricultura, Perú cubre una superficie aproximada de 35 314 ha en 14 departamentos, de los cuales el departamento de Puno concentró el 68% de la producción nacional, seguido del departamento Ayacucho

con un 10%. Asimismo, se observa que el rendimiento promedio nacional está alrededor de los 1 148 kg/ha (MINAG, 2013).

Sin embargo el cultivo, en general, se realiza aún con tecnologías y técnicas tradicionales lo que se expresa en bajos rendimientos del cultivo. Por consiguiente, se requiere realizar investigaciones que permitan elevar la productividad, lo cual se puede lograr de diferentes modalidades, entre ellas el desarrollo de nuevas variedades y el mejoramiento de las tecnologías de cultivo. Es por esto que es muy importante revalorar este cultivo y tomar medidas que promuevan el incremento de su área de cultivo y el rendimiento por unidad producida para mejorar la rentabilidad de los agricultores.

Actualmente en Ayacucho, el pequeño productor en promedio posee 1,5 ha y realiza el sembrío de quinua de forma manual debido al costo elevado del empleo de tecnologías modernas. El sembrío manual se desarrolla de tres maneras distintas: al voleo, por golpes o en líneas a chorro continuo, el cual se realiza de un modo impreciso en comparación al sembrío mecanizado. El rendimiento es otro comparador importante entre los métodos de siembra, reduciendo el tiempo de sembrío de horas por hectárea dramáticamente.

Para establecer pautas y conceptos de vital importancia y así lograr los objetivos del presente trabajo, es necesario definir el concepto de Tecnología Apropiada. Una institución reconocida como es el ITACAB (Instituto de Tecnologías Apropiadas del Convenio Andrés Bello) define tecnología apropiada como un *“conjunto sistemático de conocimientos y procedimientos para la organización y producción de bienes y servicios que satisfagan necesidades de las poblaciones; las mismas que se asumen e interiorizan cotidianamente respetando la identidad cultural y el medio ambiente”*. (ITACAB, 1993)

En el presente trabajo se realizará el diseño de una máquina sembradora de semillas de quinua que trabaje en el departamento de Ayacucho, con una capacidad de siembra de 01 hectárea por hora para extensiones de terreno de siembra de quinua a baja y mediana escala y traccionada por un tractor agrícola de 55 HP.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

Diseñar una máquina sembradora de semillas de quinua con una capacidad de siembra de 01 hectárea por hora y traccionada por un tractor agrícola de 55 HP

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Conocer las características y propiedades de la semilla de la quinua cultivadas en el departamento de Ayacucho.
- Estudiar los diferentes métodos de siembra en el departamento de Ayacucho.
- Realizar un viaje de estudio al departamento de Ayacucho para conocer de cerca el proceso de cultivo, datos agro-técnicos y la tecnología utilizada actualmente.
- Conocer los diferentes mecanismos de dosificación de semillas y abono.
- Determinar la fuerza mínima necesaria para remover el terreno al abrir un surco
- Evaluar el mecanismo para transmitir potencia.
- Realizar el cálculo y dimensionamiento de los componentes de la máquina
- Seleccionar y/o diseñar dispositivos de simple obtención y producción en el mercado nacional.
- Elaborar planos de ensamble y despiece.
- Estimar el coste total de la máquina.

CAPITULO 1

1. QUINUA, CARACTERÍSTICAS Y PARÁMETROS DE CULTIVO

1.1 PROPIEDADES Y CARACTERISITICAS DE LA QUINUA

La quinua es un cultivo que se produce en los Andes de Bolivia, Perú, Argentina, Chile, Colombia y Ecuador, así como en Estados Unidos. Bolivia es el primer productor mundial, seguido por Perú y Estados Unidos.

La quinua tiene un excelente balance de carbohidratos, grasas, minerales y proteínas para la alimentación humana. El contenido de proteínas de las semillas de quinua varía entre 14-22%, siendo significativamente mayor que la de los cereales. Sin embargo, la ventaja nutricional más importante de la quinua es la composición de los aminoácidos de las proteínas de las semillas. Las proporciones de todos los aminoácidos esenciales están muy cerca de los recomendados por la FAO/OMS/UNU para todos los grupos de edad (UNALM, 2013). Según los expertos tiene la misma cantidad de proteína que la carne.

Posee un alto nivel de fibra. La quinua nos ayuda a comer menos y adelgazar al tener la propiedad de saciar el hambre. La quinua contiene omega 3 y omega 6, lo cual sirve para bajar el nivel de colesterol en nuestro organismo.



Figura 1.1. Plantaciones de quinua

Fuente: UNALM, "Manuel del cultivo de la quinua", Lima, 2013

1.1.1. Generalidades de la quinua

- ✓ Nombre común: Quinua
- ✓ Nombre científico: *Chenopodium quinoa*
- ✓ Variedades más consumidas: Blanca, Hualhuas, Rosada.
- ✓ Requerimientos agroclimáticos:
 - Altitud: 2800 - 3500 m.s.n.m. (Valles interandinos)
 - Temperatura: 15 - 20 °C
- ✓ Requerimiento de semilla: 12 Kg/ha
 - Periodo vegetativo: 160 - 200 días
- ✓ Época de siembra: para zona del altiplano entre setiembre y octubre, y para valles interandinos entre noviembre y diciembre
- ✓ Rendimiento promedio:
 - 500 - 800 Kg/ha (tecnología baja);
 - 800 - 1500 Kg/ha (tecnología mediana)
 - 1500 - 3500 Kg/ha (tecnología alta)
- ✓ Color de grano: Crema a blanco.

1.2. VARIEDADES DE SEMILLA DE QUINUA EN EL DEPT. DE AYACUCHO

1.2.1. Tipo de quinua: Quinua de Valle

En el departamento de Ayacucho el tipo de quinua producida es propio de los valles andinos. Se cultivan entre la parte central y norte del Perú. Son plantas de 2 metros de altura, la mayoría ramificadas y con ciclo vegetativo de 7 meses. Variedades: Blanca de Junin, Rosada de Junin, Amarilla de Marangani. (UNALM, 2013)



Figura 1.2. Quinua de valle

Fuente: UNALM, "Manual del cultivo de la quinua", Lima, 2013

1.2.2. Tipos de semilla

El Perú posee una amplia gama de clases de semilla, entre las cuales se tiene (CHACCHIA TELLO):

- Amarilla Maranganí
- Kancolla
- Blanca de Juli
- Cheweca
- Witulla
- Salcedo-INIA
- Quillahuaman-INIA
- Camacani I
- Camacani II
- Huariponcho
- Chullpi
- Roja de Coporaque
- Hualhuas
- Mantaro
- Blanca de Junín
- Huacariz
- Rosada de Yanamango
- Misa Jupa

1.2.3. Características de semilla

En el departamento de Ayacucho se cuentan con las siguientes clases de semilla de quinua (CHACCHIA TELLO):

Tabla 1.1. Variedades de quinua.

Variedad	Color de grano	Forma	Tamaño (mm)
Blanca de Junín	Blanco	Esférica aplanado	1,2 – 2,5
Amarilla Maranganí	Amarillo anaranjado	Cónico	2,0 – 2,8
Chullpi	Cristalino	Esférica aplanado	1,2 – 1,8
Negra de Oruro	Negro	Redondo	2,1 – 2,8
Misa Jupa	Blanco-rojo	Cónico	1,4 – 1,8

Fuente: Mujica, 1996

Elaboración: Propia

Las principales tipos de semilla en dicha localidad son:

Amarilla de Maranganí: originaria de Maranganí, Cusco, seleccionada en Andenes (INIA) y Kayra (CICA-UNSA), planta poco ramificada, de 180 cm de altura, con abundante follaje, de tallo grueso, planta de color verde oscuro característico, a la madurez la planta es completamente anaranjada, período vegetativo tardío de 160-180 días, grano grande de color anaranjado (2,5 mm), con alto contenido de saponina y susceptible a las heladas (MUJICA, 1983).

Blanca de Junín: es una variedad propia de la región central del Perú. Se cultiva intensamente en la zona del valle del Mantaro aunque también ha sido introducida con éxito en otros departamentos. En la actualidad es una de las variedades que más cultiva en Ayacucho. Esta variedad presenta dos tipos blancas y rosadas. Resistente a la enfermedad Mildiu, su periodo vegetativo es largo de 180 a 200 días, con granos blancos medianos (hasta 2,5 mm), de bajo contenido de saponina. La planta alcanza una altura de 1,60 a 2,00 m. sus rendimientos varían mucho según el nivel de fertilización. (TAPIA, 1979)

1.2.4. Zona de cultivo

La quinua se cultiva en secano en las partes altas de Ayacucho y bajo riego en las demás zonas.

Las principales zonas de cultivo son las provincias de Cangallo, Huamanga (Vinchos), Huanta (Huamanguilla e Iguain), La Mar (San Miguel) y Vilcas Huamán desde los 2256 msnm hasta los 3470 msnm; siendo la zona de Vilcas Huamán la mayor zona productora con casi el 80% de la producción total de quinua del departamento de Ayacucho (CHACCHIA TELLO).

1.3. ELECCION Y PREPARACION DEL SUELO

1.3.1. Elección del terreno

El campo debe ser elegido considerando (UNALM, 2013):

- ✓ La rotación de cultivos más apropiados (papa/habas-quinua)
- ✓ Prácticas culturales realizadas por los agricultores para conservar el suelo y romper el ciclo de insectos y enfermedades. El campo elegido puede ser uno en barbecho. El periodo de barbecho (dejar de sembrar por periodos de tiempo) ayuda a recuperar la fertilidad, especialmente cuando la tierra es utilizada para el pastoreo de animales, que dejan estiércol, y que permite el desarrollo de pasturas especialmente leguminosas.

1.3.2. Preparación del suelo antes del cultivo

Estas labores se realizan en el terreno para la adecuada instalación del cultivo de quinua y consisten en lograr la descomposición de residuos convertidos en materia orgánica, facilitar la aireación del suelo a través de un buen mullido y conseguir un suelo parejo con la nivelación (CIRNMA, 1997). La última labor en el proceso de preparación de un terreno que tiene influencia en el diseño de la máquina es:

- Surcado: La distancia es determinada de acuerdo al equipo de campo o maquinaria empleada y/o yunta.

1.4. SIEMBRA

Es la práctica de colocar la semilla en un suelo preparado a fin de facilitar las condiciones para la germinación y emergencia de las plantas.

1.4.1. Calidad de la semilla

Para lograr un buen rendimiento, las semillas deben reunir los siguientes requisitos (UNALM, 2013):

- ✓ Pureza genética, es decir de cien semillas 99-100 deben ser semillas de la variedad elegida,
- ✓ Pureza física, las semillas deben ser de quinua, enteras de buen tamaño, brillosas.
- ✓ Alto poder germinativo y vigor, es decir de 100 semillas deben germinar de 80-100 en un periodo de cinco a siete días
- ✓ Sanas o libres de enfermedades que se transmiten por semillas.

1.4.2. Función de la siembra mecanizada

Las sembradoras a utilizar para la quinua deben tener ciertas características y cualidades:

- Ahorro de tiempo y mano de obra
- La densidad de siembra sea de fácil regulación y a la vez precisa.
- La profundidad de siembra debe ser regulable y quedar constante una vez regulada.
- La distribución de la semilla y el fertilizante debe ser uniforme.
- Debe servir para sembrar semillas de diferentes tamaños de grano.

1.4.3. Consideraciones técnicas

Existen factores que intervienen en la calidad del producto, las más importantes se detallan a continuación (CIRNMA, 1997):

- **Épocas de siembra:** Tiempo en el que se debe instalar el cultivo, para garantizar que la planta cumpla con su ciclo de vida, esto depende del tipo de semilla.

- **Densidad de siembra:** Es la cantidad de semilla necesaria para un área determinada.
- **Profundidad:** Es la condición más importante que garantiza la germinación y está en relación a la cantidad de humedad del suelo (2 cm) aproximadamente.

1.4.4. Siembra de quinua en Ayacucho

- ✓ Un agricultor en promedio tiene 1,5 ha de extensión.
- ✓ 4 personas realizan la siembra de una hectárea en 6 horas
- ✓ Terrenos con inclinación de 20 – 30°
- ✓ Época de cultivo: mes de Octubre



Figura 1.3. Terrenos de cultivo inclinados

Fuente: "Foto proyecto de tesis de máquina segadora de quinua"

CAPITULO 2

2. CONCEPCION DEL DISEÑO

2.1. ESTADO DEL ARTE

2.1.1. Técnicas artesanales de siembra en Ayacucho

Actualmente los agricultores practican diversas formas de siembra, como se verá a continuación:

2.1.1.1. Al voleo

Es un método de siembra directo en el que se intenta que las semillas se distribuyan lo más uniformemente posible sobre todo el terreno. Esta siembra realizada al azar requiere gran cantidad de semillas y mano de obra.



Figura 2.1. Al voleo, Fuente: (ORGÁNICA)

2.1.1.2. Por golpe

Este método es utilizado con la finalidad de no desperdiciar tanta semilla como en el caso de la siembra al voleo. Consiste en depositar semilla cada 5 o 10 cm a lo largo de la hilera. Utilizan herramientas hechas artesanalmente como por ejemplo, una lata con hoyos en la parte inferior por donde pase la semilla.



Figura 2.2. Por golpe, Fuente: (ORGÁNICA)

2.1.1.3. Por surcos

Previamente se debe colocar el fertilizante en el fondo del surco a chorro continuo y taparlo. Luego se coloca la semilla al fondo del surco a chorro continuo y se tapa con una capa bien fina de tierra. Las semillas son colocadas manualmente o con un pequeño dispositivo para sembrar hortalizas. Por ejemplo, un tubo con un orificio por donde fluiría la semilla cuando el agricultor introduzca uno de sus lados en el interior del surco.

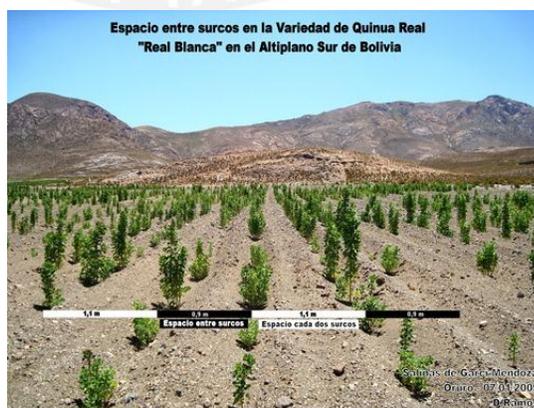


Figura 2.3. A chorro continuo, Fuente: "Programa Reportajes", 2012

2.1.2. Máquinas existentes utilizadas para la siembra de semillas de quinua

La siembra de quinua requiere de diversos parámetros. Por ello, se han diseñado y fabricado diferentes modelos de sembradoras especializadas en la quinua, cada una enfocada en mejorar el rendimiento y calidad de la producción. A continuación describiremos algunos modelos y prototipos existentes.

2.1.2.1. Satiri I (TIMTAA)

Esta sembradora tiene un dispositivo que permite depositar unas 80 semillas a intervalos de 1 m, requiere entre 8 Kg. de semilla por hectárea. Realiza la siembra en dos hilera, graduando la profundidad y número de granos por mata. Su rendimiento promedio es de 4 Kg/hr.

La sembradora presenta las siguientes características:

- Chasis y accesorios de acero. Uniones empernadas (desarmable para su transporte)
- Posee un tripuntal para acople al tractor agrícola.
- Dos **pre-surcadores** regulables a la profundidad del suelo, extensibles al ancho y llevan cuchillas cambiables.
- Dos **surcadores de siembra** que llevan rejas cambiables de acuerdo a la profundidad que requiere la siembra y llevan pernos de seguridad contra roturas de la sección.
- Dos **tolvas** que cargan la semilla.
- Dos **dosificadores de semilla**, sistema de carril o sistema de eje directo.
- Dos **llantas** aro 13 montados sobre un eje, apoyados sobre rodamientos.



Figura 2.4. Sembradoras Satiri I (TIMTAA)

2.1.2.2. Satiri III (TIMTAA)

La Satiri III es una máquina combinada, es decir realiza el sembrío y abonado en cada mata, siembra en dos hileras en matas distanciadas a 80 o 90 cm. de surco a surco y 90 cm. de mata a mata. Posee dosificadores para las semillas y para el abono. El rendimiento promedio de esta máquina es de 4 Kg/hr, entre otras características tenemos:

- Tres puntos para el enganche al tractor.
- Dos **presurcadores** regulables a la profundidad del suelo, extensibles al ancho y llevan cuchillas cambiables que evitan el desgaste del cuerpo.
- Dos **surcadores de siembra** que llevan rejas cambiables de acuerdo a la profundidad que requiere la siembra y llevan pernos de seguridad contra roturas de la sección.
- Dos **tolvas** que cargan la semilla.
- Dos **dosificadores de semilla**, sistema encarrilado.
- Dos **llantas** montadas sobre un eje y apoyadas sobre rodamientos en el larguero trasero, aro 13 x 45/80.
- Dos **tolvas** para la carga de abono.

- Dos **dosificadores de abono**, dispositivos instalados en el interior de las cajas respectivas.
- Dos **tubos de descarga** del estiércol.



Figura 2.5. Máquina Combinada Satiri III (TIMTAA)

2.1.2.3. Modelo coreano (PERALTA, 2012):

Esta máquina es fabricada por una empresa privada de Corea del Sur, bajo requerimientos del Centro Internacional de Agricultura de Corea (KOPIA, por sus siglas en inglés). La máquina surcoreana, pesa menos de diez kilos, maneja parámetros en las que cada semilla debe sembrarse separada de otra por una distancia de cinco centímetros y a tres centímetros de profundidad. Debe haber, además, una distancia de hasta 15 centímetros entre surco y surco. En este modelo podemos resaltar:

- Una tolva.
- Una llanta.
- Una rueda dosificadora.
- Chasis de acero.
- Rendimiento: 3,2 hr/ha



Figura 2.6. Sembradora de fabricación coreana. (PERALTA, 2012)

2.2. LISTA DE EXIGENCIAS

La siguiente lista de exigencias fue desarrollada siguiendo las nociones del estado de la tecnología y además las necesidades planteadas como objetivos de la presente tesis. Se presentarán una serie de exigencias y características que deberá cumplir la máquina para su correcto funcionamiento y diseño.

Tabla 2.1. Lista de exigencias

LISTA DE EXIGENCIAS			Pág. 1 de 2
			Edición: Rev. 2
PROYECTO:		DISEÑO DE UNA MÁQUINA SEMBRADORA DE QUINUA	Fecha: 26/09/13
CLIENTE:		PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERU	Revisado: J.A.M.
			Elaborado: L.A.S.R.
Fecha (cambios)	Deseo o Exigencia	Descripción	Responsable
26/09/13	E	Función: <ul style="list-style-type: none"> Realizar la siembra de las diversas clases de semillas de quinua con una capacidad de 01 Ha/h, y que trabaje en el departamento de Ayacucho. 	L.A.S.R.
26/09/13	E	Geometría: Las dimensiones de la máquina deberán ser las necesarias para una buena distribución de las semillas y marcha sobre el terreno.	L.A.S.R.
26/09/13	E	Cinemática: <ul style="list-style-type: none"> La velocidad de trabajo de la máquina deberá permitir obtener el flujo de semilla requerido El movimiento de las partes mecánicas de la máquina no deberá dañar la salida de la semilla. 	L.A.S.R.
26/09/13	E	Fuerzas: <ul style="list-style-type: none"> La máquina deberá tener suficiente estabilidad y rigidez de modo que no impida el funcionamiento a plena carga de trabajo La máquina deberá soportar las cargas de modo que no se produzcan deformaciones perjudiciales en su desempeño. 	L.A.S.R.
26/09/13	E	Energía: El tipo de energía a usar en la máquina provendrá del tractor.	L.A.S.R.
26/09/13	D	Energía: La energía utilizada en la máquina no deberá afectar aspectos ambientales	L.A.S.R.

26/09/13	E	Materia: La materia prima empleada serán granos de quinua, de mayor consumo en el departamento de Ayacucho, y abono.	L.A.S.R.
26/09/13	E	Señales: Los indicadores que poseerá la máquina deben ser de fácil entendimiento para el operador.	L.A.S.R.
26/09/13	E	Seguridad: La máquina debe contar con sistemas de protección para el operario antes, durante y después de la siembra de la semilla.	L.A.S.R.
26/09/13	E	Ergonomía: La posición de los dispositivos (regulación, ajuste y desarticulación) y la máquina en general estarán a la altura de una fácil maniobrabilidad de acorde a las exigencias ergonómicas para el operario.	L.A.S.R.
26/09/13	D	Fabricación: <ul style="list-style-type: none"> • Los materiales a utilizar en los componentes de la máquina deben estar disponibles en el mercado nacional. • Las piezas de la máquina serán de forma sencilla para su fácil reproducción en cualquier taller local. 	L.A.S.R.
26/09/13	E	Montaje: La máquina será de fácil montaje y desmontaje.	L.A.S.R.
26/09/13	D	Transporte: La máquina será lo más liviana posible para un fácil transporte.	L.A.S.R.
26/09/13	E	Mantenimiento: <ul style="list-style-type: none"> • La frecuencia de mantenimiento deberá ser aproximadamente cada 6 meses. • Los componentes de la máquina van a ser de fácil reemplazo (compra o fabricación). 	L.A.S.R.
26/09/13	E	Terreno: La máquina trabajará sobre un terreno que ya ha sido trabajado (arado y rastrado).	L.A.S.R.
26/09/13	E	Plazos: Se entregará el informe técnico final el 25/06/15.	L.A.S.R.

2.3. ESTRUCTURA DE FUNCIONES

2.3.1. Abstracción

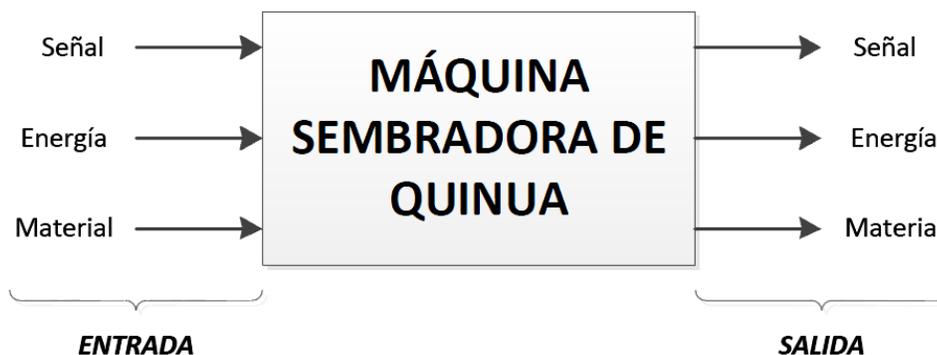


Figura 2.7. Caja Negra

- ✓ **CAJA NEGRA:** Máquina sembradora de quinua
- ✓ **ENTRADAS:**
 - **Señal:** Señal indicadora del inicio de funcionamiento de la máquina.
 - **Energía:** Energía mecánica ejercida por el tracción del tractor.
 - **Material:** Abono y semillas de quinua.
- ✓ **SALIDAS:**
 - **Señal:** Señal indicadora del correcto funcionamiento de la máquina.
 - **Energía:** Energía Mecánica, ruido, calor y vibraciones.
 - **Material:** Semilla sembrada y abonada.

2.3.2. Secuencia y principios tecnológicos

- a. Acoplamiento de la máquina al tripuntal del tractor
- b. Suministro de potencia requerida hacia la máquina
- c. Avance de la sembradora en el terreno

- d. Distribución de la energía hacia los diferentes mecanismos.
- e. Apertura del terreno con ayuda de un dispositivo (surcador)
- f. Dosificar el abono
- g. Dosificar la semilla
- h. Depositar el abono y la semilla
- i. Cubrir de tierra la semilla
- j. Compresión del suelo para que favorezca el aumento de humedad
- k. Repetir del paso **d** a la **j**.
- l. Detención del tractor, parada de la máquina.

2.3.3. Fijación de procesos técnicos

a) PREPARACION

- Revisar que los mecanismos de la máquina no dañen las semillas de quinua.
- Revisión de la adecuada lubricación de la máquina.
- Revisión del buen estado de los mecanismos de transmisión de potencia.
- Revisión del buen estado del mecanismo de siembra.

b) EJECUCION

- Avance de la máquina.
- Conexión de la transmisión de potencia.
- Transmisión de la fuerza motora al mecanismo de siembra.
- Siembra de la semilla.
- Cubrimiento de la semilla.
- Compactado del terreno.
- Detención de la máquina.

c) CONTROL

- Verificar que las semillas no atasque a la máquina, por sobrealimentación.
- Controlar la velocidad de avance de la máquina sembradora de quinua.
- Controlar la cantidad de semillas y abono dosificados en el proceso de siembra.

2.3.4. Aplicación de sistemas técnicos y limitaciones

- El avance de la máquina está dado por el tractor y la transmisión de potencia se realizará mediante cadenas debido a la baja velocidad de trabajo y su dirección será controlada por el tractor.
- El sistema de siembra de semillas de quinua se podrá realizar de dos maneras: el sistema de rueda dentada y el sistema de rodillo acanalado. El sistema a usar se definirá de acuerdo a la evaluación técnica y económica de los conceptos de solución de acorde a la lista de exigencias.
- La profundidad de siembra debe estar entre 2-3 cm
- La separación entre depósito y depósito debe ser de 15 cm.
- La máquina también deberá mostrar buena estabilidad para realizar la siembra en los campos inclinados del departamento de Ayacucho.
- La velocidad de avance del tractor se estima en 1,39 m/s.

2.3.5. Agrupación de la estructura de funciones

Las funciones a realizar por la máquina están dispuestas en el siguiente orden:

1. **Almacenar semilla:** acopio de la cantidad de semilla necesaria para la siembra en toda la extensión del terreno.
2. **Alimentar semilla:** salida de la semilla del dispositivo de almacenaje para su entrada al mecanismo dosificador de la semilla.
3. **Dosificar semilla:** el mecanismo seleccionado realiza una correcta distribución de la semilla para su salida al exterior.
4. **Almacenar abono:** acopio de la cantidad de abono necesaria para la siembra en toda la extensión del terreno.
5. **Alimentar abono:** salida del abono del dispositivo de almacenaje para su entrada al mecanismo dosificador del abono.
6. **Dosificar abono:** el mecanismo seleccionado realiza una correcta distribución del abono para su salida al exterior.
7. **Transmitir potencia:** mecanismo seleccionado para transmitir la potencia suministrada por la fuente (tractor) hacia el dispositivo dosificador.

8. **Abrir surco:** apertura del terreno para lograr una profundidad determinada para la siembra de la semilla.
9. **Depositar semilla:** colocación de la semilla en el terreno surcado.
10. **Depositar abono:** colocación del abono en el terreno surcado.
11. **Tapar:** se remueve parte del surco para cubrir de tierra a la semilla sembrada para su posible crecimiento.
12. **Comprimir suelo:** se prensa el suelo alrededor de la semilla para favorecer el aumento de humedad.

2.3.6. Representación de la estructura de funciones

De acuerdo a las funciones principales ya enumeradas anteriormente, se propondrá más de una alternativa de estructura de funciones. A continuación, se presentan las estructuras de funciones elaboradas.

- **Alternativa 01:** Las semillas y el abono se dosifican y depositan por separado. Se considera la opción de comprimir el suelo luego de la siembra (ver figura 2.8).
- **Alternativa 02:** Las semillas y el abono se dosifican por separado, pero se depositan juntos. Se considera la opción de comprimir el suelo luego de la siembra (ver figura 2.9).
- **Alternativa 03:** Las semillas y el abono se dosifican por separado, pero se depositan juntos. No se considera la opción de comprimir el suelo luego de la siembra (ver figura 2.10).
- **Alternativa 04:** Las semillas y el abono se dosifican y depositan por separado. No se considera la opción de comprimir el suelo luego de la siembra (ver figura 2.11).

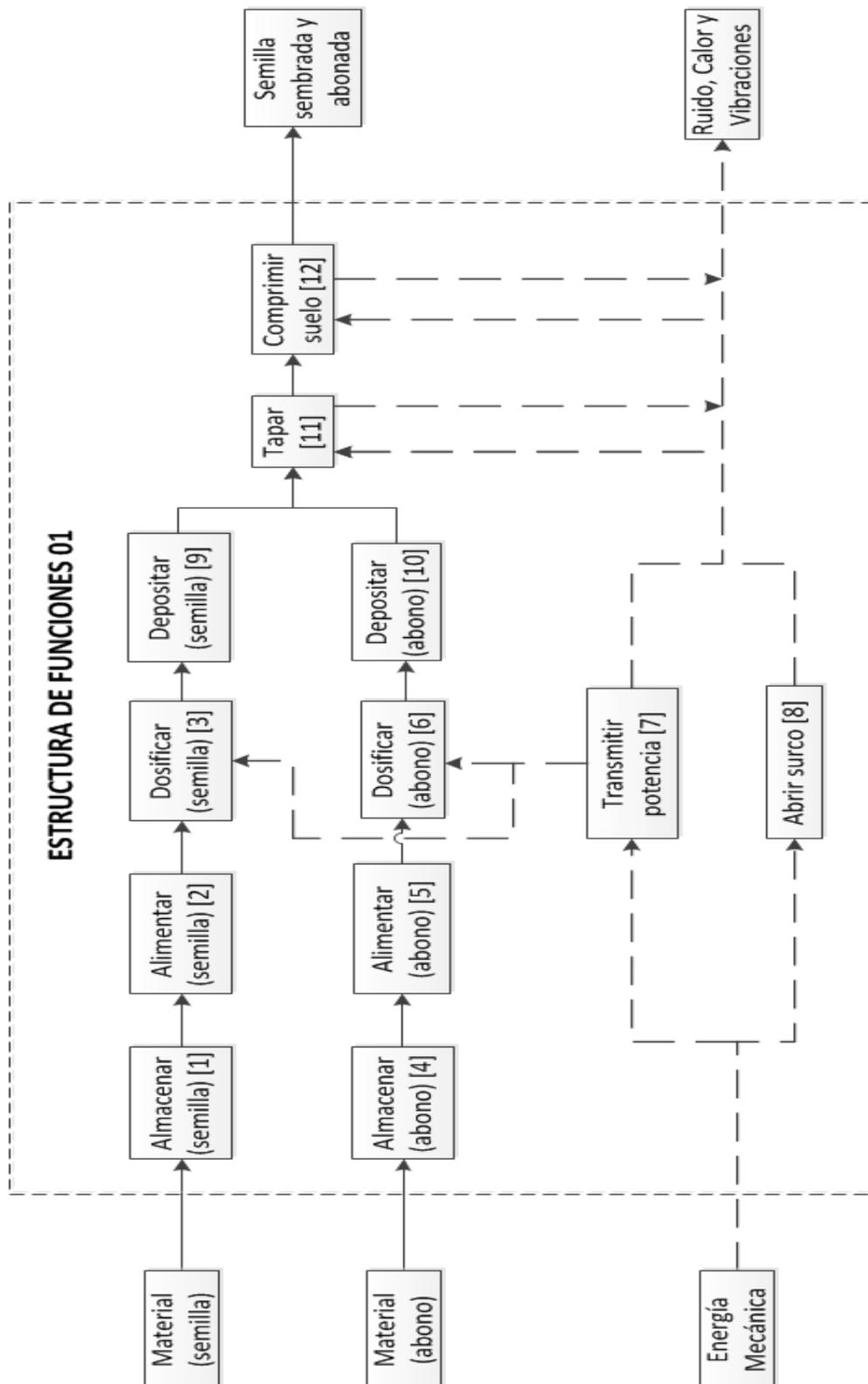


Figura 2.8. Estructura de funciones 01

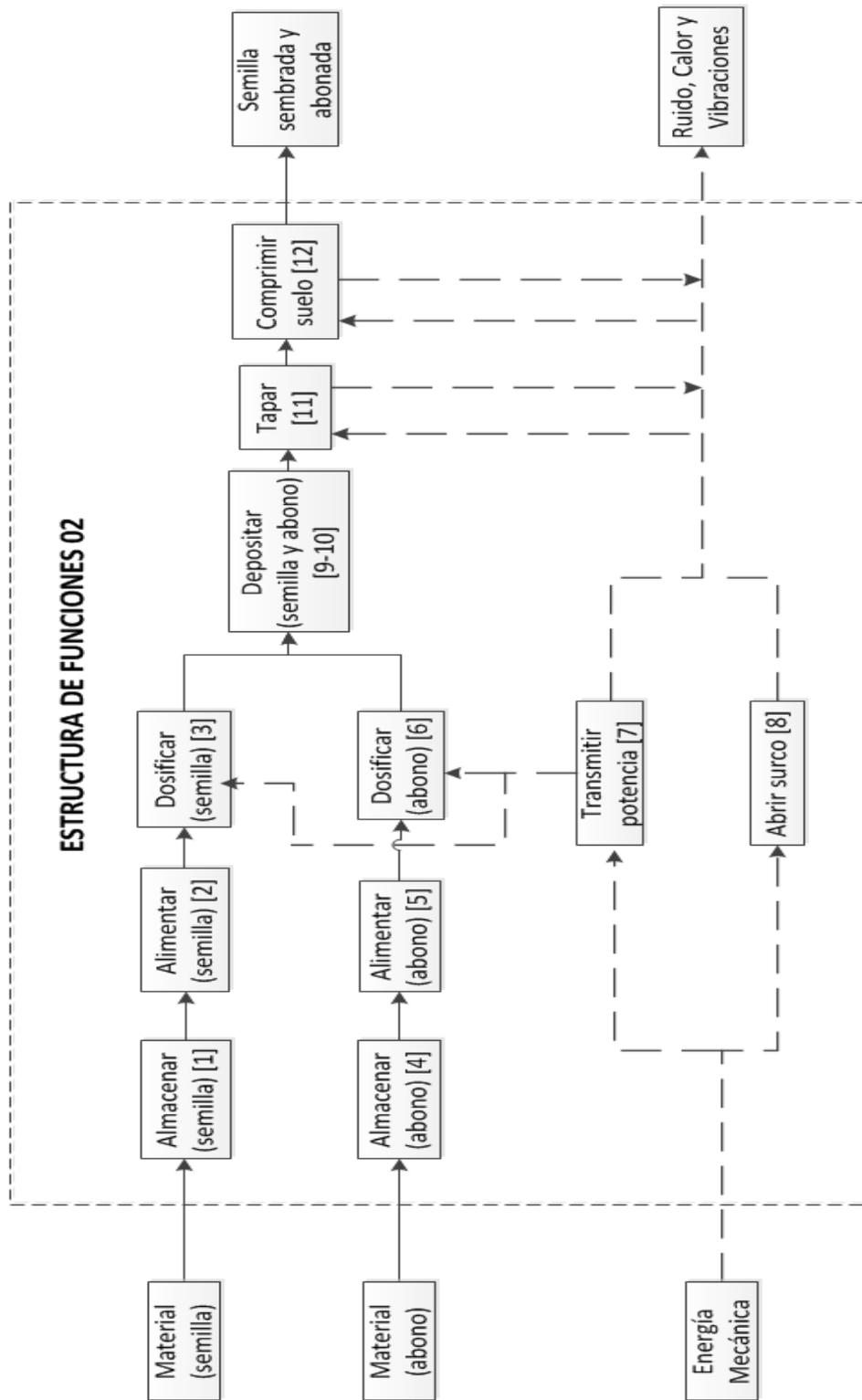


Figura 2.9. Estructura de funciones 02

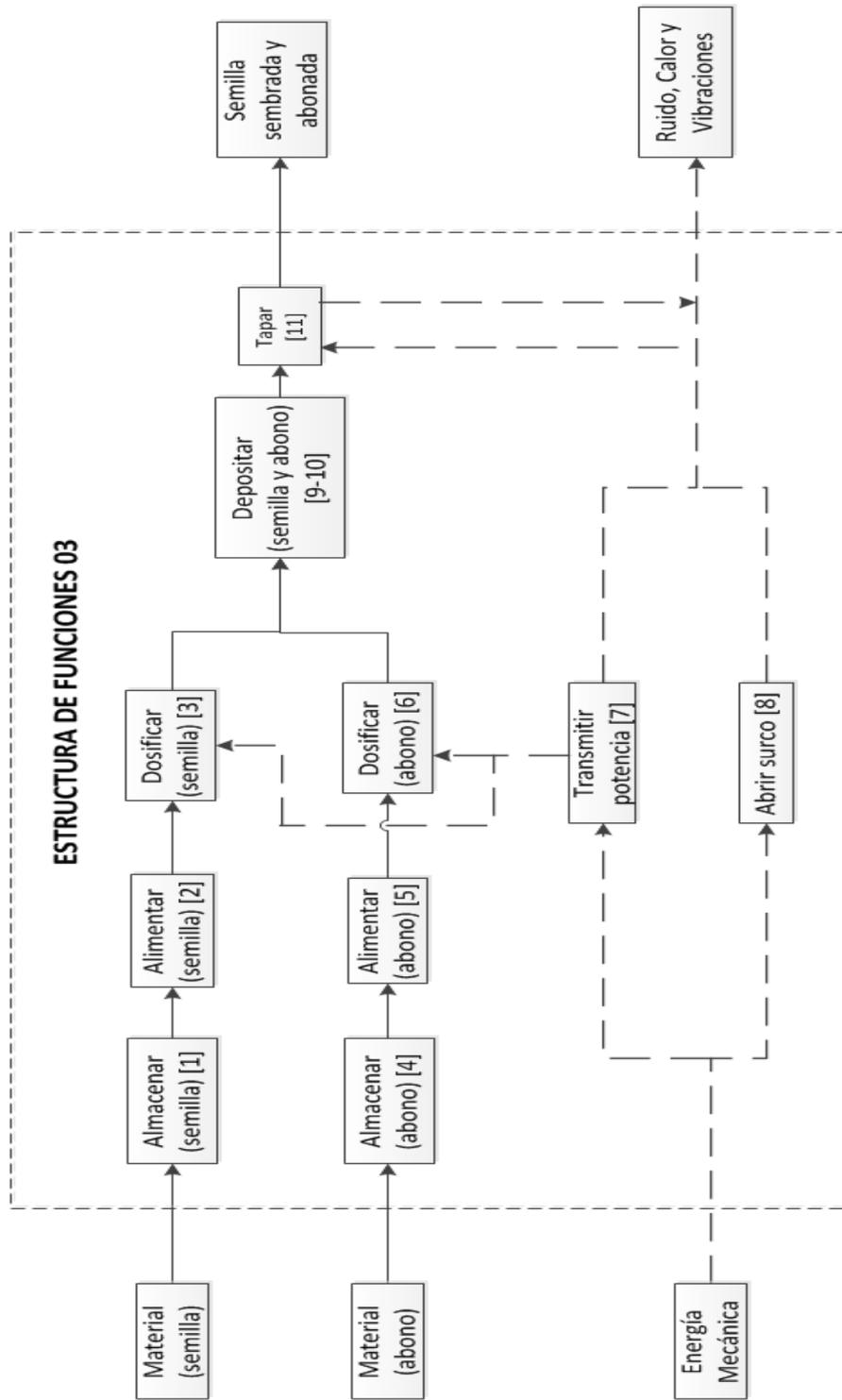


Figura 2.10. Estructura de funciones 03

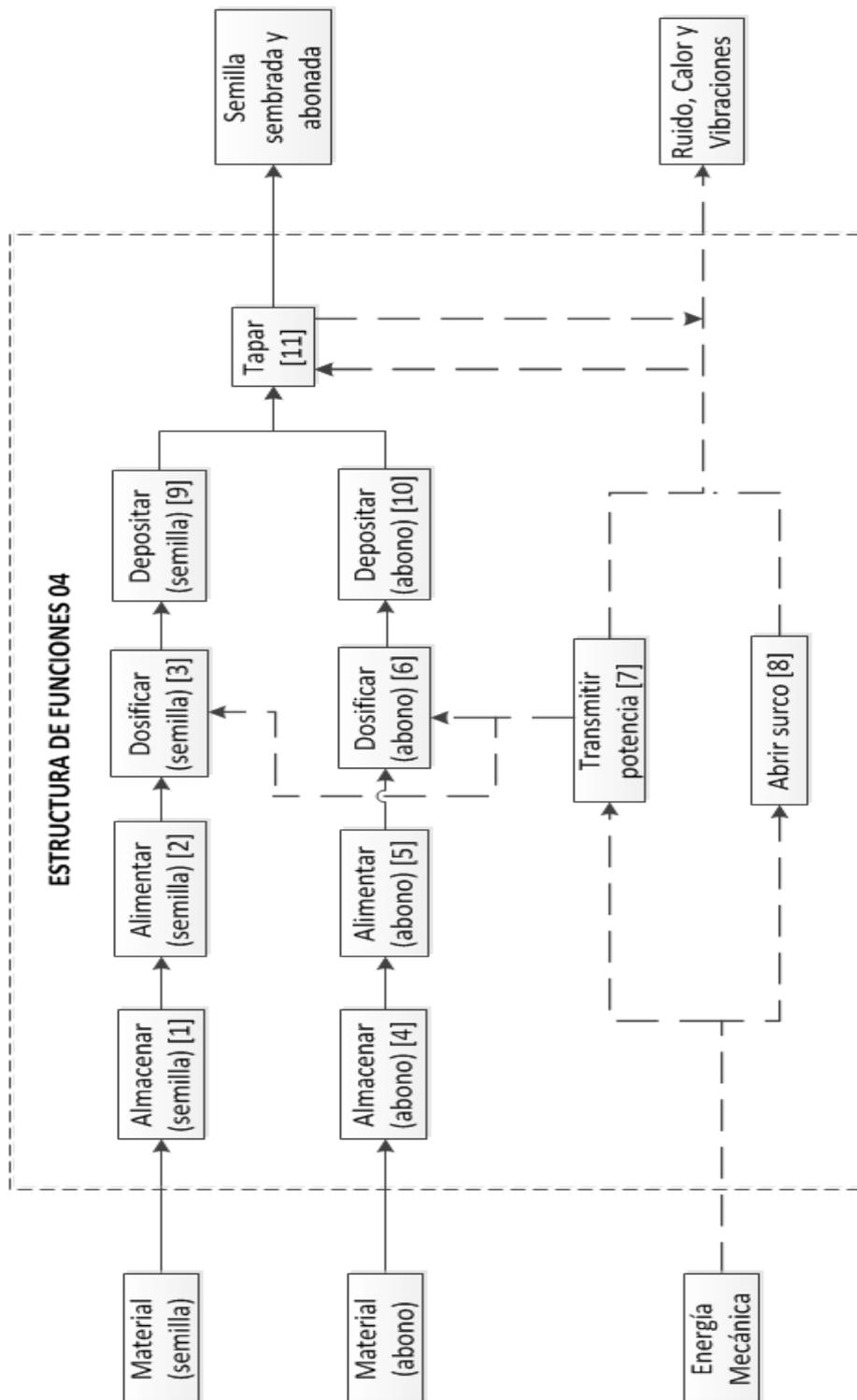


Figura 2.11. Estructura de funciones 04

2.3.7. Elección de la estructura de funciones

Se considera la alternativa 1 como la estructura de funciones óptima, debido a que las funciones están correctamente posicionadas, y no posee ningún factor que afecte a la máquina. El proceso no quedaría del todo completo si se descartara la idea de comprimir el suelo como lo sugieren las alternativas 3 y 4. En la alternativa 2, aunque es muy atractiva la idea de juntar el abono y las semillas en la salida de los dosificadores. Esta función generará en un futuro corto posibles problemas de germinación.



2.4. MATRIZ MORFOLÓGICA

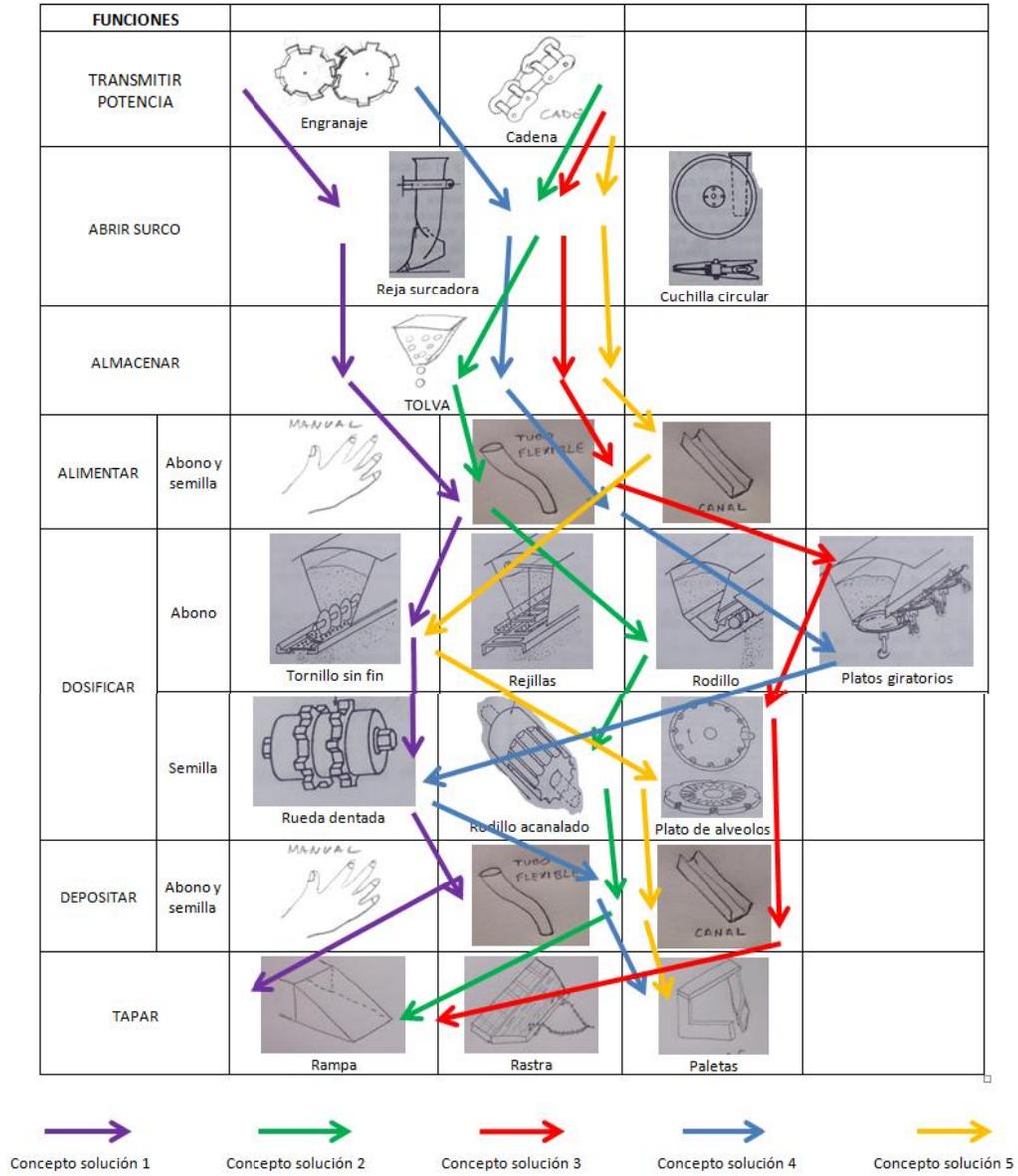


Figura 2.12. Matriz morfológica

2.5. CONCEPTOS SOLUCIÓN

De la matriz morfológica se desprenden 5 conceptos solución que se presentará a continuación:

2.5.1. Concepto solución 1:

El primer concepto solución consiste en la transmisión de potencia a los dosificadores, para la semilla y el abono, mediante el uso de engranajes. Los dosificadores se pueden observar en la figura 2.13 (tornillo sinfín para abono y rueda dentada para las semillas). Además, se posee una reja surcadora para abrir el terreno (surco). Por último, se tiene una rampa para tapar el surco y un rodillo compactador para comprimir el suelo.

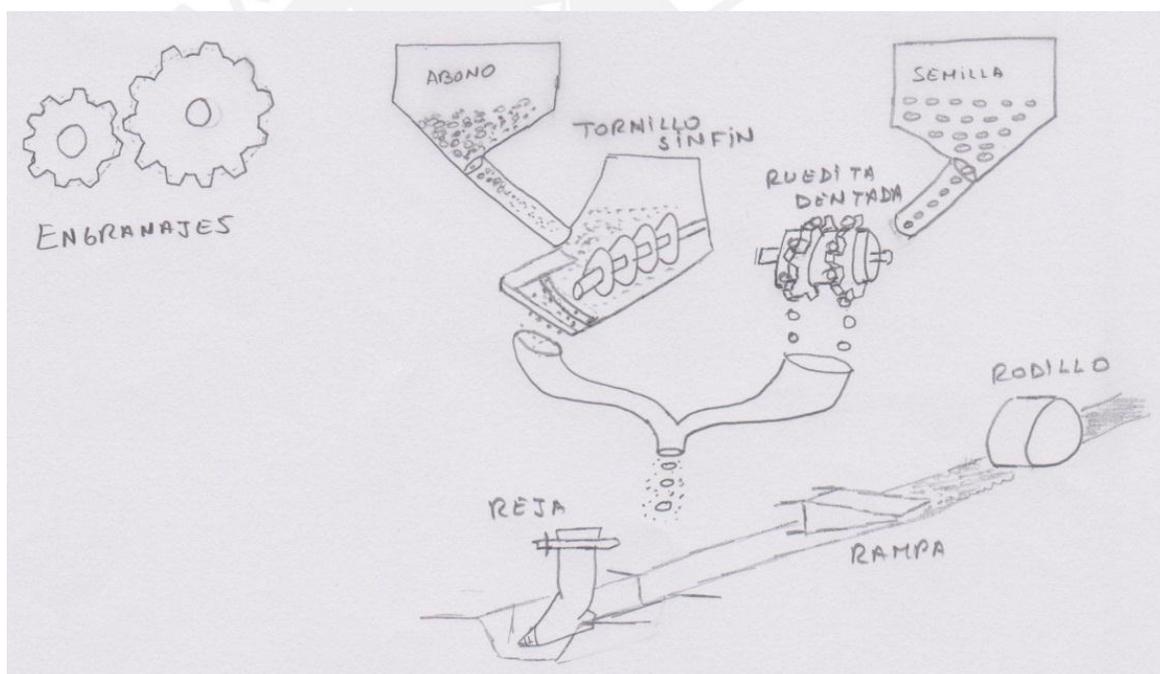


Figura 2.13. Concepto Solución 1

2.5.2. Concepto solución 2:

El segundo concepto solución consiste en la transmisión de potencia a los dosificadores, para la semilla y el abono, mediante el uso de cadenas. Los dosificadores se pueden observar en la figura 2.14 (rodillo para abono y rodillo acanalado para las semillas). Además, se posee una reja surcadora para abrir el terreno (surco). Por último, se tiene una rampa para tapar el surco y un rodillo compactador para comprimir el suelo.

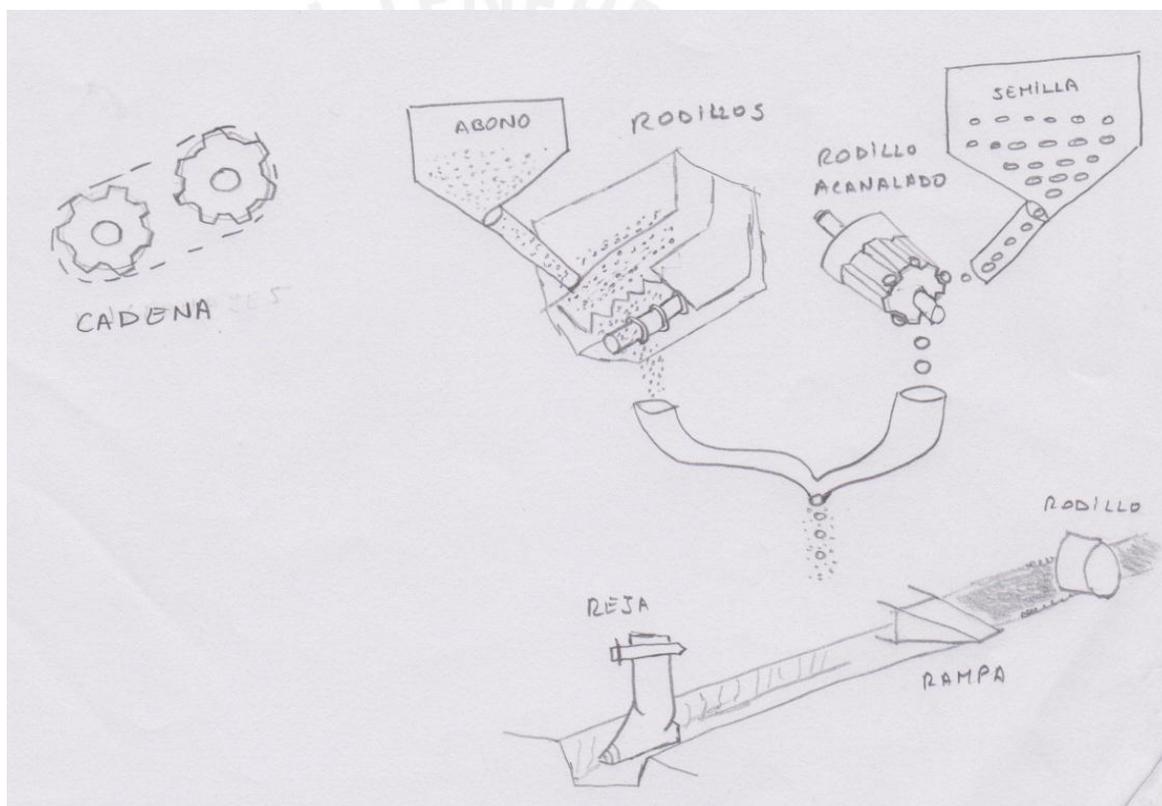


Figura 2.14. Concepto Solución 2

2.5.3. Concepto solución 3:

El tercer concepto solución consiste en la transmisión de potencia a los dosificadores, para la semilla y el abono, mediante el uso de engranajes. Los dosificadores se pueden observar en la figura 2.15 (plato giratorio para abono y rueda dentada para las semillas). Además, se posee una reja surcadora para abrir el terreno (surco). Por último, se tiene unas paletas para tapar el surco y un rodillo compactador para comprimir el suelo.

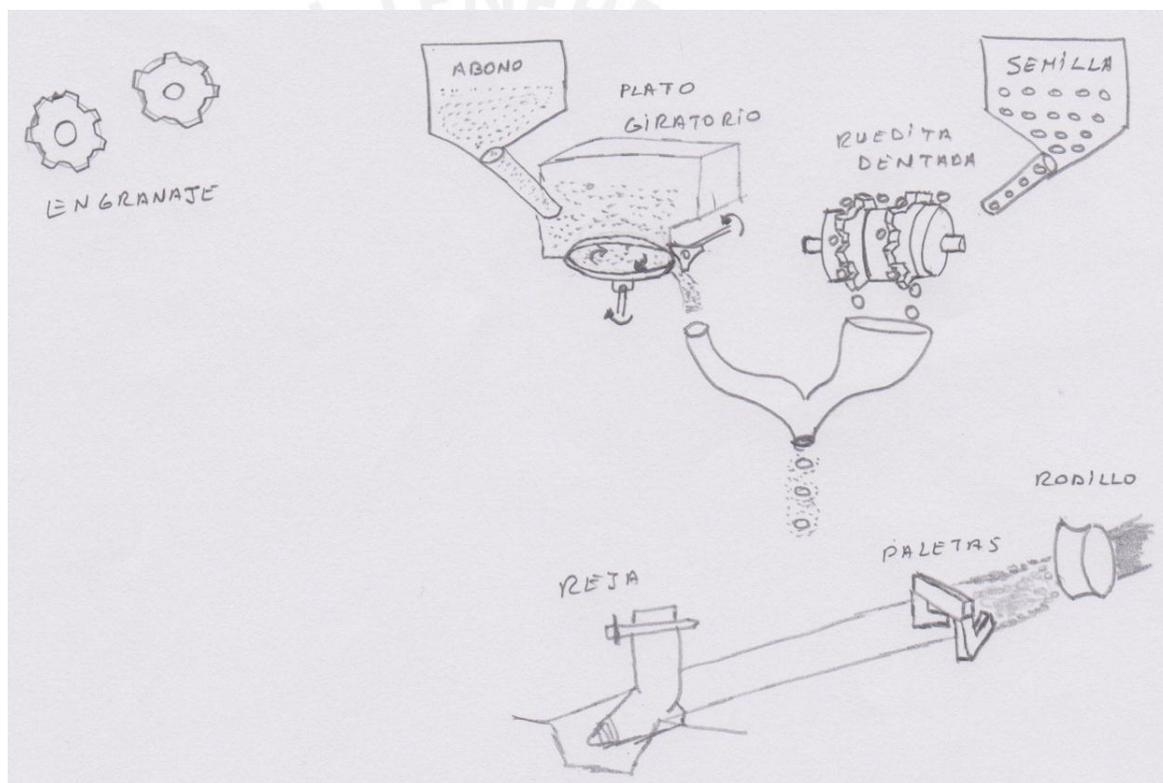


Figura 2.15. Concepto Solución 3

2.5.4. Concepto solución 4:

El cuarto concepto solución consiste en la transmisión de potencia a los dosificadores, para la semilla y el abono, mediante el uso de cadenas. Los dosificadores se pueden observar en la figura 2.16 (plato giratorio para abono y plato de alvéolos para las semillas). Además, se posee una reja surcadora para abrir el terreno (surco). Por último, se tiene una rampa para tapar el surco y un rodillo compactador para comprimir el suelo.

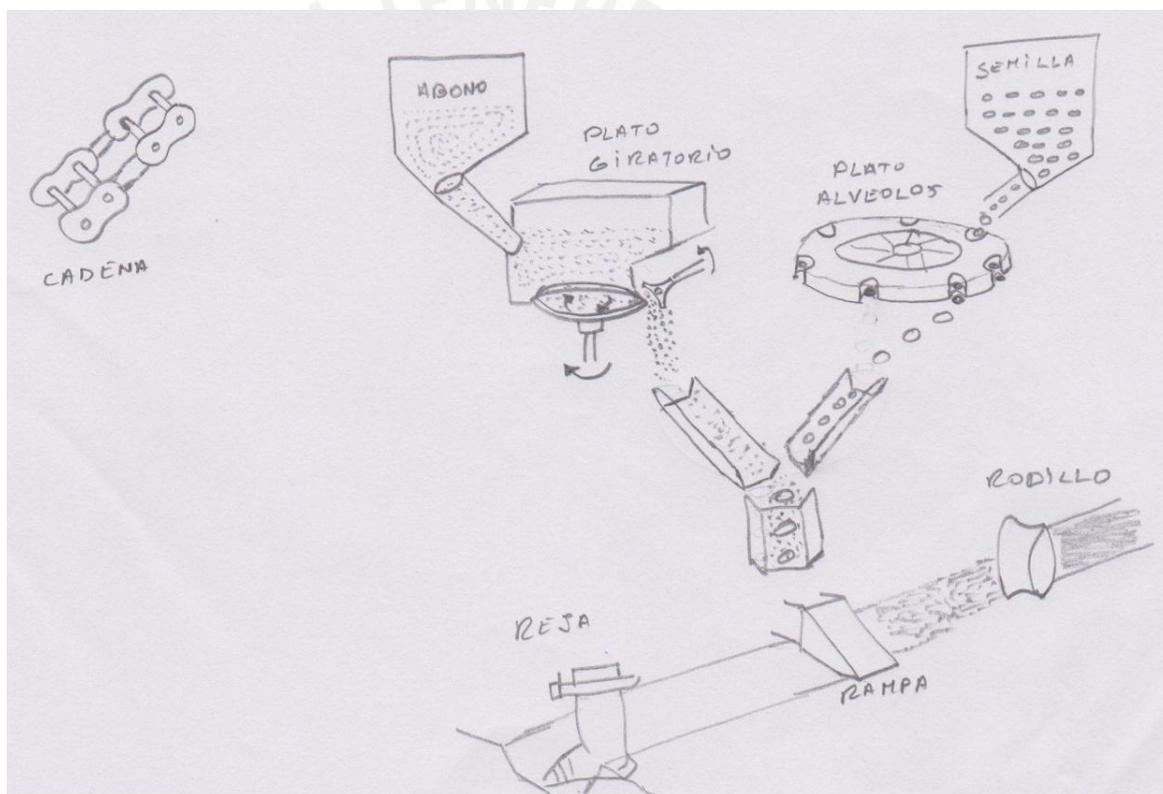


Figura 2.16. Concepto Solución 4

2.5.5. Concepto solución 5:

El quinto concepto solución consiste en la transmisión de potencia a los dosificadores, para la semilla y el abono, mediante el uso de cadenas. Los dosificadores se pueden observar en la figura 2.17 (tornillo sinfín para abono y plato de alvéolos para las semillas). Además, se posee una reja surcadora para abrir el terreno (surco). Por último, se tiene unas paletas para tapar el surco y un rodillo compactador para comprimir el suelo.

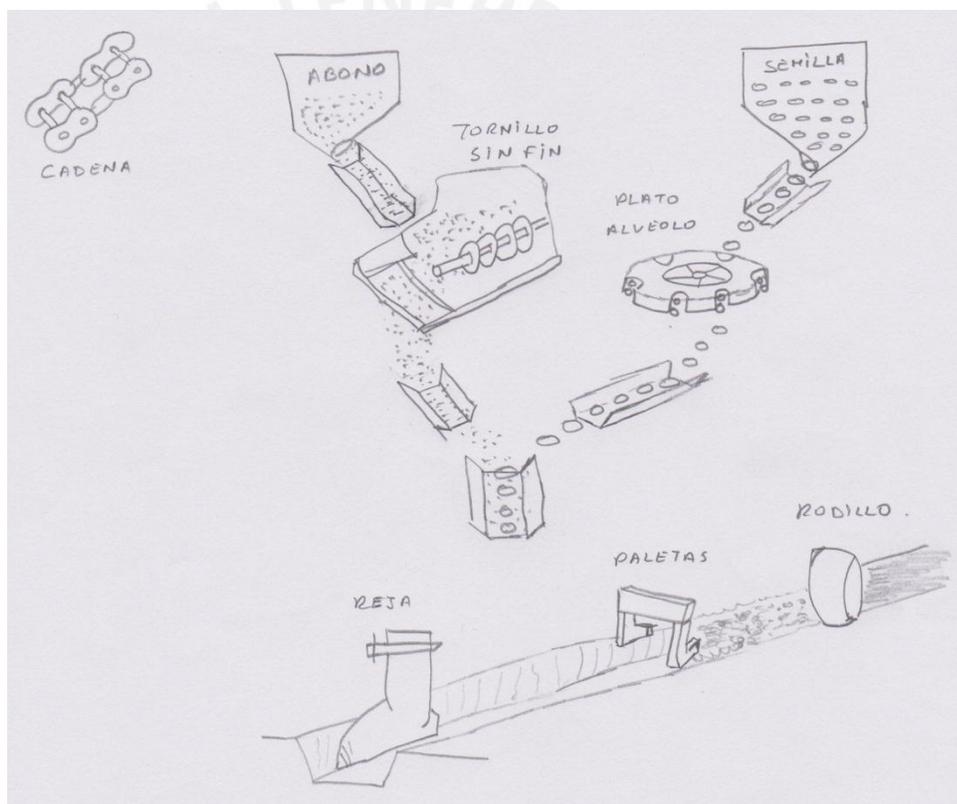


Figura 2.17. Concepto Solución 5

2.6. EVALUACIÓN PRELIMINAR DE LOS CONCEPTOS DE SOLUCION

Para realizar la evaluación previa de los conceptos de solución se seguirán los siguientes criterios:

- **Factibilidad:** Contempla la probabilidad de que el concepto solución sea desarrollado en el contexto geográfico y social en el que se desea implementar. Para ello mientras más sencillos sean los componentes, serán mejor puntuados.
- **Comodidad:** Este criterio va relacionado con el concepto de ergonomía e interacción con el usuario. Mientras el diseño evite la fatiga y el excesivo movimiento del consumidor, estará mejor valorado.
- **Facilidad de fabricación:** este criterio tiene mayor puntuación cuando los elementos que componen la máquina son de fácil adquisición o fabricación.
- **Sencillez:** es un factor que mide el impacto visual de la presentación final de la máquina del sector objetivo. Está relacionado con la comodidad y la facilidad de fabricación.
- **Facilidad de mantenimiento:** El mantenimiento del equipo deberá ser lo más sencillo posible. A mayor puntaje obtenido, el mantenimiento es más fácil.
- **Eficiencia de diseño:** Se refiere a la capacidad del sistema de utilizar la energía entregada con las menores pérdidas posibles. A mayor puntaje la eficiencia será mejor.

Tabla 2.2. Evaluación Preliminar de los conceptos solución

Diseño Mecánico – Evaluación de Conceptos					
0= No satisface, 1= Aceptable a las justas, 2= Suficiente, 3= Bien, 4= Muy bien(ideal)					
Criterios de evaluación para diseños en fase de concepto o proyectos					
Criterio	C-S 1	C-S 2	C-S 3	C-S 4	C-S 5
Factibilidad	1	3	2	2	2
Comodidad	2	3	1	1	1
Facilidad de fabricación	2	3	2	2	2
Sencillez	2	3	1	2	2
Facilidad Mantenimiento	1	2	2	2	2
Eficiencia de diseño	3	2	2	3	1
Total	11	16	10	12	10

El concepto solución ganador es el número 2, en base a este concepto solución se procederá a definir el proyecto preliminar óptimo.

2.7. PROYECTO PRELIMINAR

En esta sección se definirá el proyecto preliminar, basado en el concepto solución óptima.

2.7.1. Alternativa 01

En esta alternativa la máquina cuenta con módulos separados. Se observa en la figura 2.18 el tripuntal que es acoplado al tractor, este último jala la máquina que tiene el eje apoyado en dos ruedas que se encargan de darle el giro a los sprockets de las cadenas. Estas cadenas transmitirán la potencia a los dosificadores de semillas y abono.

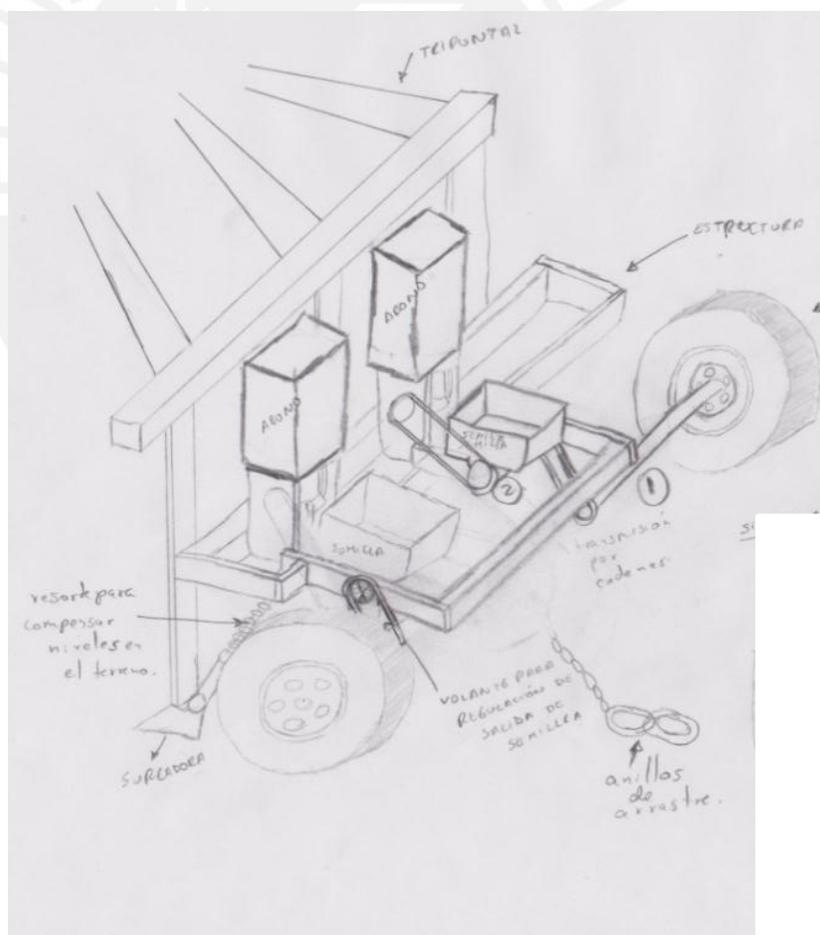


Figura 2.18. Proyecto preliminar - alternativa 01

2.7.2. Alternativa 02

En esta alternativa la máquina cuenta con módulos unidos por la tolva de abono que se observa en la figura 2.19. El tractor jala la máquina, que tiene en cada módulo, una rueda de metal encargada de darle el giro a los sprockets de las cadenas. Estas cadenas transmitirán la potencia a los dosificadores de semillas y abono.

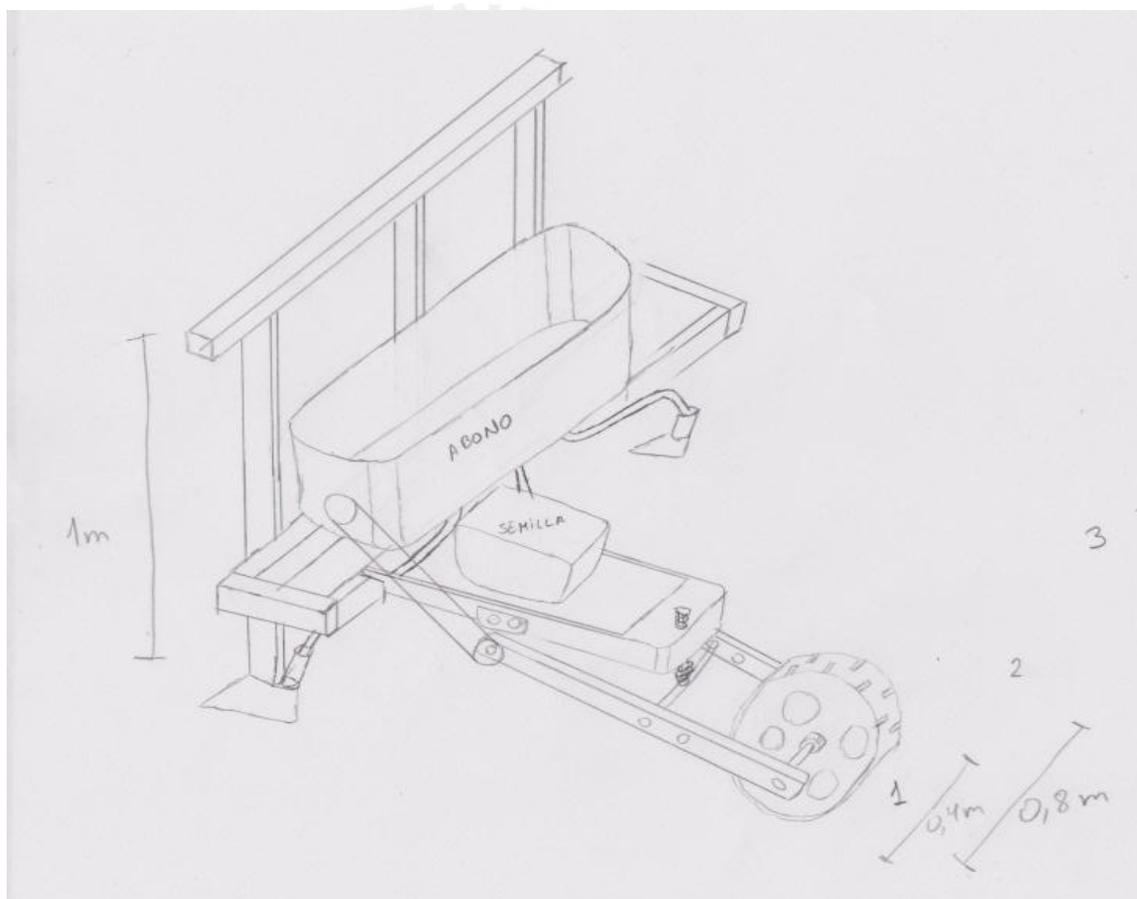


Figura 2.19. Proyecto preliminar - alternativa 02

2.7.3. Alternativa 03

En esta alternativa la máquina cuenta con módulos separados. Se observa en la figura 2.20 el tripuntal que es acoplado al tractor, este último jala la máquina, que tiene en cada módulo, una rueda de metal encargada de darle el giro a los sprockets de las cadenas. Estas cadenas transmitirán la potencia a los dosificadores de semillas y abono.

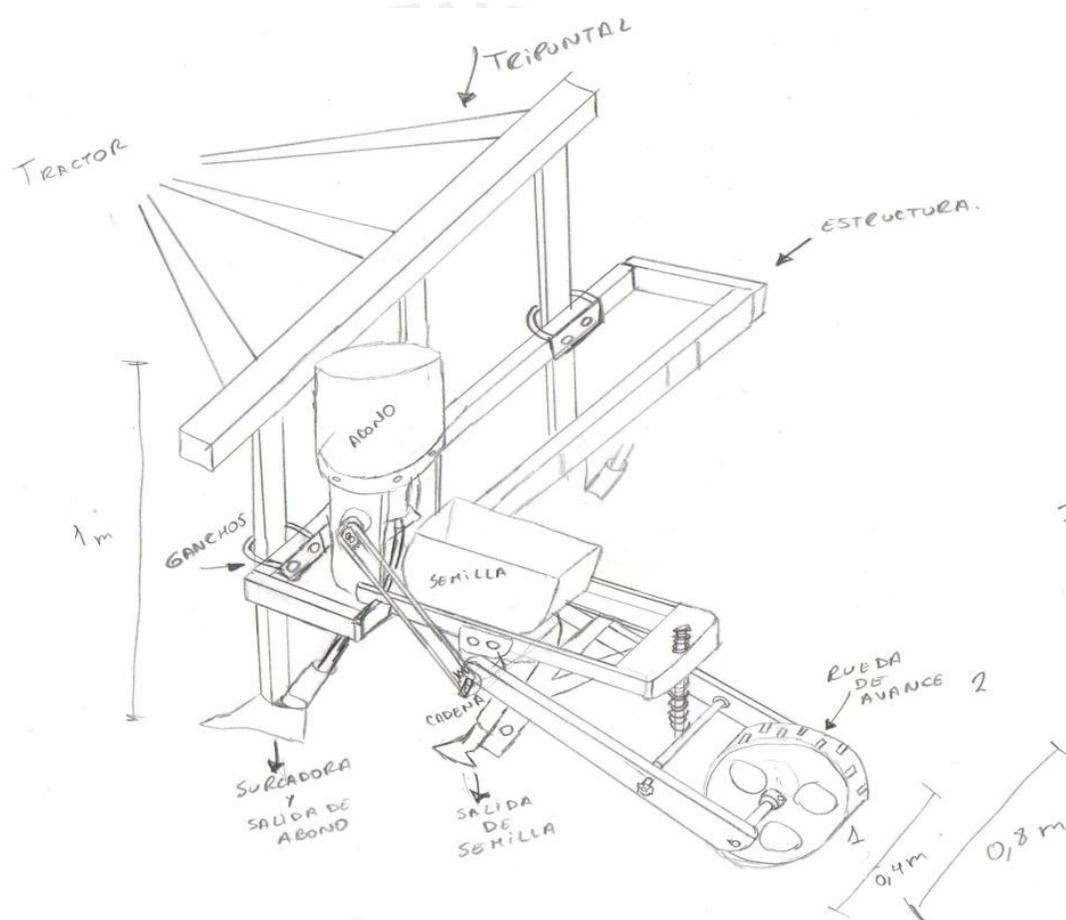


Figura 2.20. Proyecto preliminar - alternativa 03

2.8. EVALUACION TÉCNICO-ECONÓMICA

Para determinar el proyecto preliminar optimo, se elaborará una evaluación cualitativa de las diferentes alternativas, esta se realizará con la ayuda de una matriz de decisión.

Valor Técnico: Se tendrán en cuenta diferentes criterios de aceptación en una escala del 1 al 4; donde 4 significa que cumple muy bien con el criterio a evaluar y el 1 que es escasamente aceptable. Los valores que se obtendrán de esta matriz de decisión representarán la coordenada X en una gráfica de toma de decisión.

Tabla 2.3. Evaluación técnica

Diseño Mecánico - Evaluación de Proyectos													
Valor Técnico													
Proyecto: Diseñar una máquina centrífuga para la obtención del concentrado proteico del suero de leche													
p: puntaje de 0 a 4 (Escala de valores según VDI 2225)													
0= No satisface, 1= Aceptable a las justas, 2= Suficiente, 3= Bien, 4= Muy bien(ideal)													
g: peso ponderado, esta en función de los criterios de evaluación (1:4)													
Criterios de evaluacion para diseños en fase de concepto o proyectos													
Variante de concepto/Proyecto			Solucion 1 (S1)			Solucion 2 (S2)			Solucion 3 (S3)			Solucion ideal	
Nro.	Criterios de Evaluación	g	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp	
1	Cumplimiento de la funcion	2	3	6	3	6	3	6	4	8			
2	Simplicidad del diseño	3	2	6	3	9	3	9	4	12			
3	Menor espacio	3	2	6	3	9	2	6	4	12			
4	Simetria	1	2	2	3	3	2	2	4	4			
5	Simplicidad de la transmision	3	1	3	3	9	3	9	4	12			
6	Seguridad de la transmision	3	3	9	1	3	3	9	4	12			
7	Rendimiento de Centrifugado	4	3	12	3	12	3	12	4	16			
8	Mejor filtrado	4	2	8	2	8	2	8	4	16			
9	Control de las RPM	3	3	9	3	9	3	9	4	12			
10	Menor Precision de Montaje	2	1	2	2	4	3	6	4	8			
11	Seguridad de operación	3	3	9	3	9	3	9	4	12			
12	Facilidad de operación	2	3	6	3	6	3	6	4	8			
13	Facil fabricacion	4	1	4	3	12	3	12	4	16			
14	Facil montaje	3	1	3	3	9	3	9	4	12			
15	Facil mantenimiento	3	1	3	3	9	3	9	4	12			
	Suma de puntaje ($\sum p$ y $\sum gp$)			31	88	41	117	42	121	60	172		
	Xi			0.52	0.5	0.68	0.7	0.7	0.7	1	1		

Valor Económico: De la misma manera se evaluará el valor económico en función de diversos criterios. El rango de escala es la antes mencionada. De esta matriz de decisión se obtendrá la coordenada Y en una gráfica de toma de decisión.

Tabla 2.4. Evaluación económica

Diseño Mecánico - Evaluación de Proyectos													
Valor Económico													
Proyecto: Diseñar una máquina centrífuga para la obtención del concentrado proteico del suero de leche													
p: puntaje de 0 a 4 (Escala de valores según VDI 2225)													
0= No satisface, 1= Aceptable a las justas, 2= Suficiente, 3= Bien, 4= Muy bien(ideal)													
g: peso ponderado, esta en función de los criterios de evaluación (1:4)													
Criterios de evaluación para diseños en fase de concepto o proyectos													
Variante de concepto/Proyecto			Alternativa 01			Alternativa 02			Alternativa 03			Solucion ideal	
Nro.	Criterios de Evaluación	g	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp	
1	Simplicidad del diseño	4	1	4	3	12	3	12	4	16			
2	Costo del material	3	2	6	3	9	3	9	4	12			
3	Menor peso	2	1	2	3	6	2	4	4	8			
5	Menor tamaño	3	2	6	3	9	2	6	4	12			
6	Facil proceso de manufactura	4	1	4	3	12	3	12	4	16			
7	Facil compra de componentes	3	1	3	2	6	3	9	4	12			
8	Facil montaje	3	1	3	2	6	3	9	4	12			
10	Menor tiempo de fabricacion	3	1	3	3	9	3	9	4	12			
12	Facil mantenimiento	4	2	8	2	8	3	12	4	16			
13	Facil adquisicion de repuestos	3	1	3	2	6	3	9	4	12			
	Suma de puntaje ($\sum p$ y $\sum gp$)			13	42	26	83	28	91	40	128		
	Yi			0.33	0.3	0.65	0.6	0.70	0.7	1	1		

Luego de obtener ambas coordenadas representadas por el valor técnico (X) y económico (Y), se procede a dibujar una gráfica de toma de decisión donde se representará la solución ideal como una línea de pendiente 1. La solución que se halle más próxima a esta línea será la ganadora.

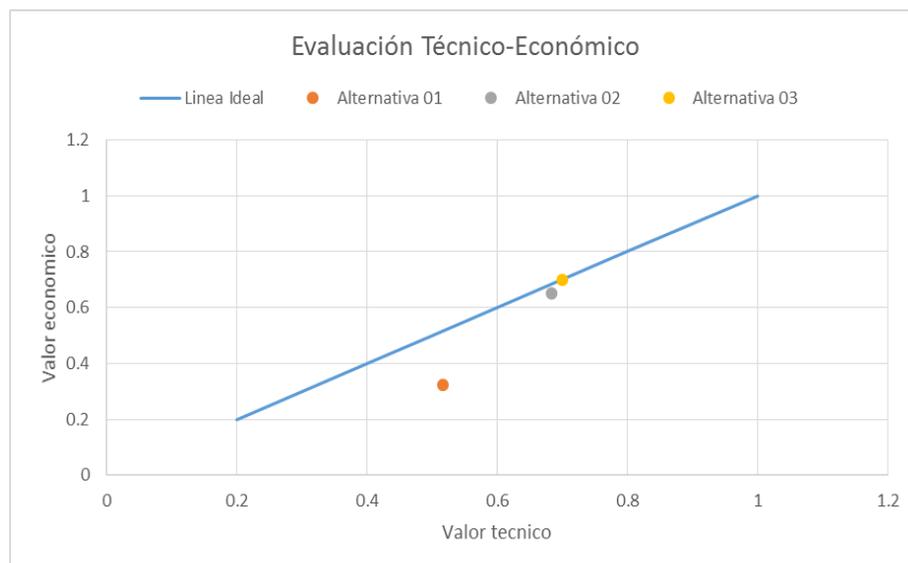


Figura 2.21. Gráfica de toma de decisión

A partir del análisis técnico-económico, con la ayuda de la gráfica de toma de decisión, podemos concluir que el proyecto preliminar óptimo es la alternativa 03. Dicha alternativa comprende 3 módulos de siembra, el cual posee, cada una, los siguientes elementos: una rueda motriz metálica, dos transmisiones por cadenas, dos ejes, dos dosificadores, transmisión del eje a los dosificadores mediante chaveta, dos tolvas y una estructura base. Una vez definido el proyecto preliminar óptimo se procederá a realizar los cálculos de ingeniería de todos los componentes para dimensionar la máquina.

CAPITULO 3

3. INGENIERIA DE DETALLE

En esta sección se detallarán los cálculos realizados para respaldar el diseño de la máquina.

3.1. FUENTE DE ENERGIA

Según los agricultores de Ayacucho, el uso de ganado no es una opción recomendable, ya que cada vez es menor la cantidad de personas dedicadas a la ganadería y a la agricultura simultáneamente. Es por ello que se recomienda el uso de un tractor pequeño modelo Shanghai 504, puesto que es el modelo de tractor más común en la zona.

Tabla 3.1. Especificaciones tractor Shanghai 504

Modelo	Shanghai 504
Potencia	55 HP
Fuerza máxima de la tracción	17,64 KN
Fuerza de elevación máxima	8 KN
Velocidad de avance	6 velocidad: 2,13 – 26,69 Km/h
Ancho	1620 mm
Largo	3325 mm
Peso estructural	2240 Kg
Capacidad del acoplado	5000 Kg

Fuente: Shanghai SMEC Trading Co., Ltd. (SHANGAI)



Figura 3.1. Tractor Agrícola modelo Shangai 504
 “Foto proyecto de tesis de máquina segadora de quinua”

3.2. CAPACIDAD

Extensión de terreno: 1 Ha

Tomando una hectárea de lados iguales (100 m x 100 m) con los siguientes datos:

- Distancia entre surcos de 0,8 m.
- Triple módulo de siembra lo que nos permite cubrir un ancho de 2,4 m.
- Velocidad del tractor igual a 5 Km/h o 1,39 m/s.
- Ancho del tractor: 1,6 m
- Largo del tractor: 3,3 m

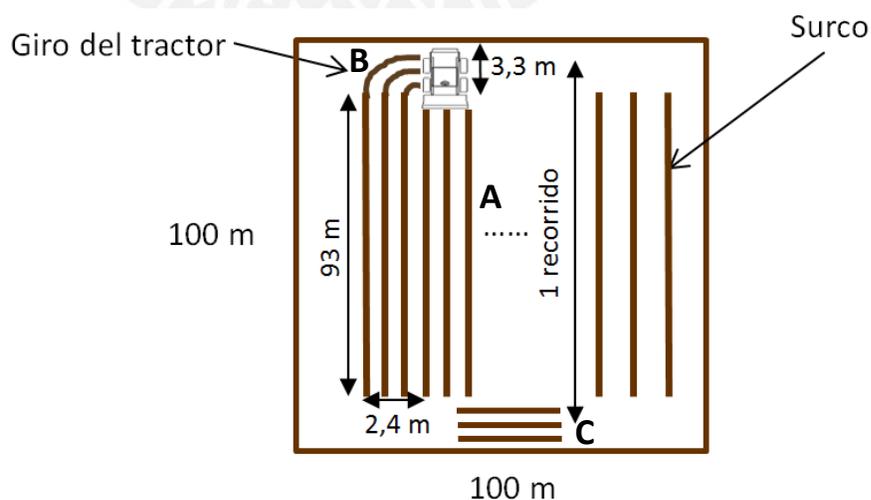


Figura 3.2. Esquema del avance del tractor en el terreno.

Para hallar el recorrido total de la sembradora, se considera 3 secciones:

Sección A: la longitud recta recorrida sin considerar el espacio necesario para el giro del tractor.

Sección B: el espacio recorrido al hacer todos los giros del tractor (sin sembrar).

Sección C: el espacio recorrido al sembrar los espacios dejados para el giro del tractor

$$\text{Longitud sección A} = \# \text{ de recorridos rectos} \times \text{longitud de recorrido recto} \quad (3.1)$$

$$\# \text{ de recorridos rectos} = \frac{\text{Lado de Hectárea}}{\text{Ancho cubierto por la máquina}} \quad (3.2)$$

$$\# \text{ de recorridos rectos} = \frac{100 \text{ m}}{2,4 \text{ m}}$$

$$\# \text{ de recorridos rectos} = 41$$

$$\text{longitud de recorrido recto} = \text{Lado de Hectárea} - 2 \times \text{largo del tractor} \quad (3.3)$$

$$\text{longitud de recorrido recto} = 100 \text{ m} - 2 \times 3,3 \text{ m}$$

$$\text{longitud de recorrido recto} = 93,4 \text{ m}$$

Reemplazando (3.2) y (3.3) en (3.1)

$$\text{Longitud sección A} = 41 \times 93,4 = 3\,829,4 \text{ m} \quad (3.4)$$

El espacio requerido para el giro del tractor está dado por una semicircunferencia de diámetro $D = 2,4 \text{ m}$

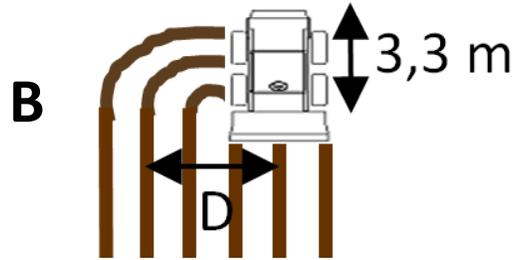


Figura 3.3. Giro del tractor-sección B (sin sembrar)

$$\text{Longitud sección B} = \# \text{ de giros} \times \text{longitud de semicircunferencia} \quad (3.5)$$

$$\# \text{ de giros} = \# \text{ de recorridos rectos} - 1 \quad (3.6)$$

$$\# \text{ de giros} = 41 - 1 = 40$$

$$\text{longitud de semicircunferencia} = \pi \times \frac{D}{2} \quad (3.7)$$

$$\text{longitud de semicircunferencia} = \pi \times 1,2 = 3,77 \text{ m}$$

Reemplazando (3.6) y (3.7) en (3.5)

$$\text{Longitud sección B} = 40 \times 3,77 = 150,8 \text{ m} \quad (3.8)$$

En la sección C, se siembra lo que no se sembró durante los giros del tractor,

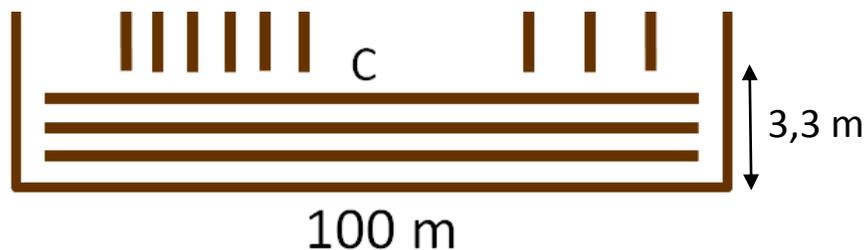


Figura 3.4. Sección C

Puesto que el ancho disponible para que pase el tractor es 3,3 m. Solamente se tiene espacio para una pasada por cada lado (superior e inferior); por lo tanto, se tiene 02 pasadas.

$$\text{Longitud sección B} = 40 \times 3,77 = 150,8 \text{ m} \quad (3.9)$$

$$\text{Longitud sección C} = 2 \times 100 \text{ m}$$

$$\text{Longitud sección C} = 200 \text{ m}$$

Así, tenemos el recorrido total de la sembradora:

$$\text{Longitud total recorrida} = \text{Longitud sección A} + \text{B} + \text{C} \quad (3.10)$$

Reemplazando (3.4), (3.8) y (3.9) en (3.10)

$$\begin{aligned} \text{Longitud total recorrida} &= 3\,829,4 + 150,8 + 200 \\ \text{Longitud total recorrida} &= 4\,180,2 \text{ m} \end{aligned} \quad (3.11)$$

Usando la velocidad del tractor igual a 1,39 m/s

$$\text{Tiempo} = \frac{\text{Longitud total recorrida}}{\text{Velocidad del tractor}} \quad (3.12)$$

$$\text{Tiempo} = \frac{4\,180,2 \text{ m}}{1,39 \text{ m/s}} \times \frac{1 \text{ h}}{3\,600 \text{ s}}$$

$$\text{Tiempo} = 0,84 \text{ h}$$

Considerando un factor de 1,2 que incluye tiempos de montaje, carga en la tolva, etc.

$$\text{Tiempo} = 0,84 \times 1,2 \cong 1 \text{ hora}$$

Por lo tanto, se sembrará 1 hectárea en 1 hora.

3.3. SISTEMA DE DOSIFICACION SEMILLA

3.3.1. Dosificador: rodillo acanalado

Como su propio nombre lo indica se trata de un cilindro en cuya superficie se encuentran unos compartimientos regularmente dispuestos, que en su giro recogen pequeñas cantidades de semillas de la parte inferior de la tolva para ser descargadas en el extremo superior del tubo de caída. La forma de sus dientes aseguran un trabajo libre sin posibles atascamientos, lo que asegura la eficacia de la siembra.

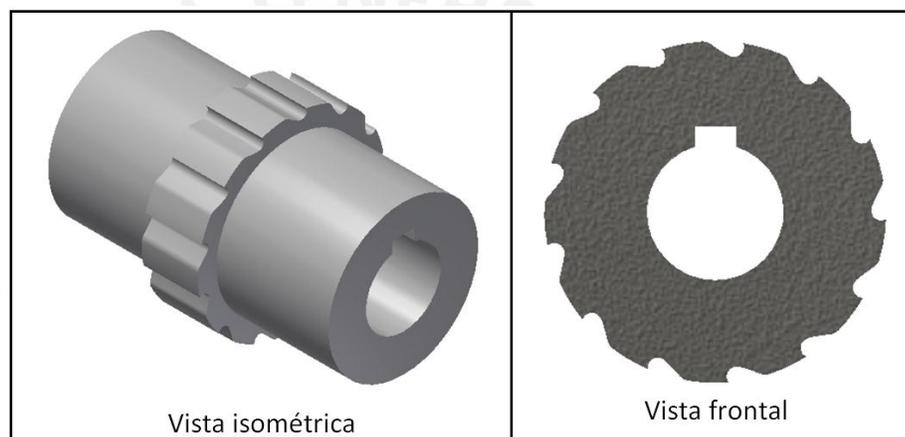


Figura 3.25. Cilindro acanalado recto.

3.3.2. Densidad de siembra

En esta parte, se definirá la cantidad de semillas mínima necesaria para cubrir 01 Ha de extensión.

$$\text{Cant. de semillas a sembrar} = \text{Cant. de plantas total} \times \text{Cant. semillas por planta} \quad (3.13)$$

Para calcular la cantidad total de plantas sembrada por **UNO** de los módulos se utiliza las longitudes de la sección A (ec. 3.4), sección C (ec. 3.9) y el espacio que debe haber entre planta y planta.

$$\text{Cant. de plantas total} = \frac{\text{Longitud sección A} + \text{Longitud sección C}}{e_{plantas}} \quad (3.14)$$

Donde: $e_{plantas} = 15 \text{ cm} = 0,15 \text{ m}$ (dato de la sección 2.3.4)

Reemplazando en (3.14)

$$\text{Cant. de plantas total} = \frac{3\,829,4 + 200}{0,15} \cong 26\,862 \text{ PLANTAS}$$

Por dato, se sabe que *Cant. semillas por planta* ~ 7 semillas. Reemplazando en la ecuación 3.13:

$$\text{Cant. de semillas a sembrar} = 26\,862 \times 7 = 188\,034 \text{ semillas} *$$

*Esta es la cantidad de semilla depositada por uno (01) de los módulos en 01 hectárea.

Ahora, usando la masa de cierta cantidad de semillas, se obtendrá la masa total de semilla usada en el terreno:

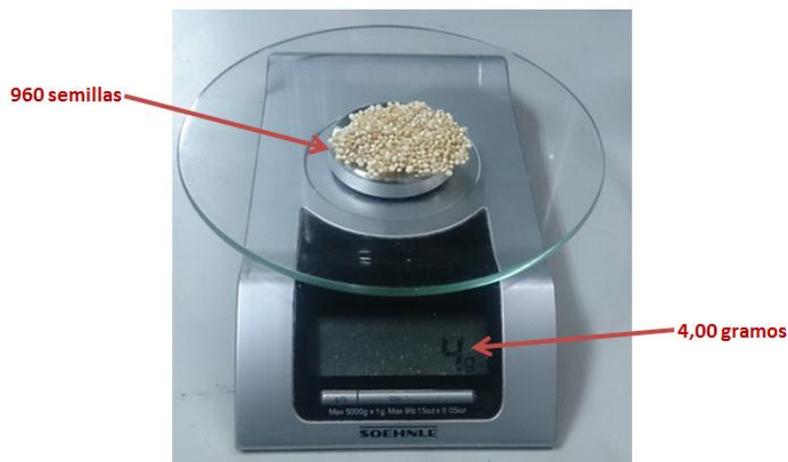


Figura 3.26. Masa de semillas

Fuente: Propia

Usando regla de 3 simple:

$$960 \text{ semillas} \rightarrow 4,00 \text{ g}$$

$$188\,034 \text{ semillas} \rightarrow "X" \text{ g}$$

$$X = \frac{188\,034 \times 4}{960} = 783,47 \text{ g}$$

Aplicando un factor de 1,25 para evitar posibles pérdidas y falta de semillas durante la siembra.

$$\text{Masa de semillas por módulo} = 783,47 \times 1,25 \cong 980 \text{ g}$$

Por lo tanto, cada módulo de siembra necesitará aproximadamente 980 g de semilla de quinua, y como la máquina contará con 3 módulos, se obtiene una densidad de siembra igual a 2 940 g / Ha.

3.3.3. Número de alvéolos necesarios

El número de alvéolos es la principal característica del dosificador, ya que permitirá obtener el espacio necesario entre cada puesta de semillas a lo largo del surco.

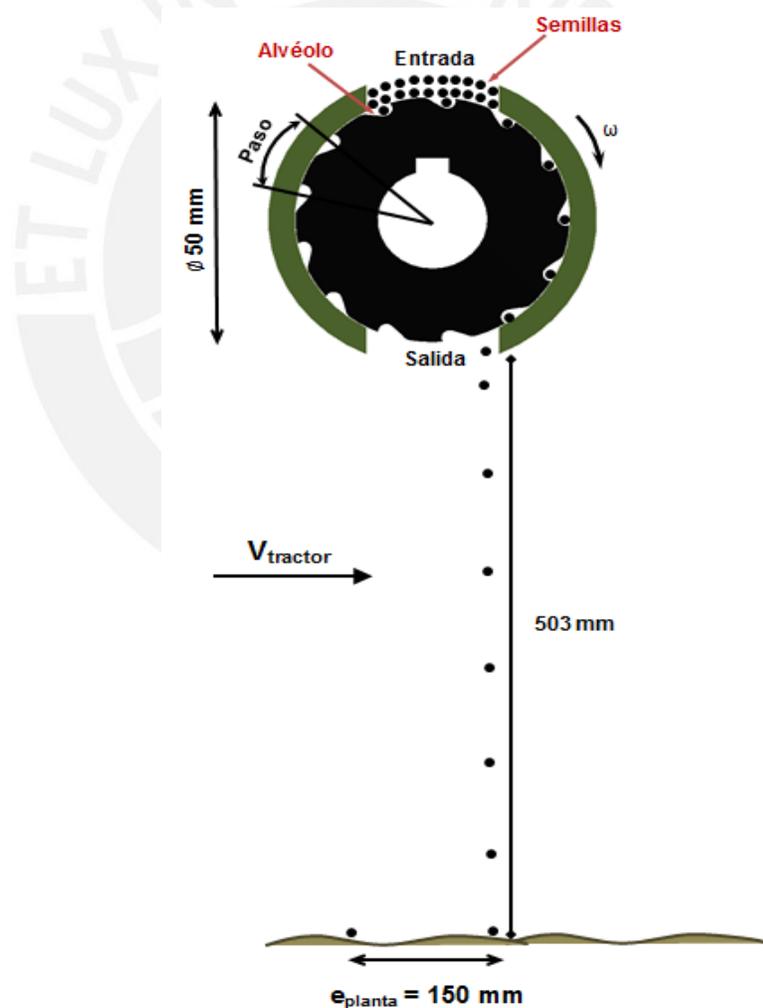


Figura 3.27. Paso de la semilla por el dosificador

Se parte del siguiente principio:

$$t_{\text{entre caída y caída al terreno}} = t_{\text{salida entre alvéolo y alvéolo}} \quad (3.15)$$

$$t_{\text{entre caída y caída al terreno}} = \frac{e_{\text{planta}}}{V_{\text{tractor}}} = \frac{0,15}{1,39} = 0,11 \text{ s} \quad (3.16)$$

$$t_{\text{salida entre alvéolo y alvéolo}} = \frac{\text{Paso}}{\omega} \quad (3.17)$$

Reemplazando (3.27) y (3.26) en (3.25)

$$0,11 = \frac{\text{Paso}}{\omega}$$

Donde $\omega = 41,1 \text{ RPM}$ (esta velocidad angular será explicada en la sección 3.6)

$$\text{Paso} = 0,11 \times 41,1 \times \frac{\pi}{30} = 0,47 \text{ rad} = 27,13^\circ$$

Por lo tanto,

$$\text{Número de alvéolos} = \frac{360^\circ}{\text{Paso}} = \frac{360}{27,13} \quad (3.18)$$

$$\text{Número de alvéolos} = 13,27 \cong 13 \text{ alvéolos}$$

3.3.4. Volumen de los alvéolos:

La dosis distribuida por hectárea para un rodillo acanalado recto depende del volumen útil de los alvéolos. Esta es la variable que se modifica para variar la dosis. (ORTIZ CAÑAVATE, 1989). De la misma fuente se utiliza la siguiente fórmula para verificar que el volumen del alvéolo cumple con el mínimo necesario para abarcar el volumen de las semillas a dosificar.

$$D = 0,6 \frac{\delta \cdot V \cdot n_r \cdot n_v \cdot Z}{a \cdot v} \text{ (Kg/Ha)} \quad (3.19)$$

Donde:

δ : Densidad de semilla (g/cm^3)

- V : Volumen de los alvéolos del rodillo en la posición escogida (cm^3/rev)
 n_r : Velocidad de rotación del rodillo (r/min). Este valor oscila entre 30 y 50 RPM
 n_v : Coeficiente de llenado que varía entre 0,6 y 0,85
 Z : Número de dosificadores de la máquina
 v : Velocidad de trabajo (Km/h)
 a : Anchura de trabajo (m)

Reemplazando con los valores de la tabla 3.4 en la ecuación 3.19:

Tabla 3.4. Tabla con valores para ec. 3.19

Dato	Valor	Unidades
δ	1,188	g/cm^3
n_r	41,1	RPM
n_v	0,85	-
Z	3	-
v	5	Km/h
a	2,4	m

Reemplazando en (3.19):

$$2,94 = 0,6 \times \frac{1,188 \times V \times 41,1 \times 0,75 \times 3}{2,4 \times 5}$$

$$V = 0,47 \text{ cm}^3/\text{rev}$$

Luego:

$$\text{Volumen de un (01) alvéolo} = \frac{V}{\text{Número de alvéolos}} \quad (3.20)$$

$$\text{Volumen de un (01) alvéolo} = \frac{0,47 \text{ cm}^3/\text{rev}}{13 \text{ alvéolos}/\text{rev}}$$

$$\text{Volumen de un (01) alvéolo} = 36,15 \text{ mm}^3$$

Verifiquemos si este volumen satisface el mínimo necesario para las 7 semillas:

$$960 \text{ semillas} \rightarrow 4,00 \text{ g}$$

$$7 \text{ semillas} \rightarrow "Y" \text{ g}$$

$$Y = \frac{7 \times 4}{960} = 0,29 \text{ g}$$

Usando la densidad de la semilla (δ), se obtiene:

$$\text{Volumen de 7 semillas} = Y \times \delta = 0,29 \times 1,188 = 0,035 \text{ cm}^3 = 35 \text{ mm}^3 \quad (3.21)$$

Comparando los resultados de las ecuaciones (3.30) y (3.31)

$$36,15 \sim 35 \text{ mm}^3 \text{ OK!}$$

3.3.5. Torque en el dosificador de semilla

El dosificador necesita que se le transmita un Momento Torsor M (figura 3.28) suficiente para conseguir su giro y el de las semillas.

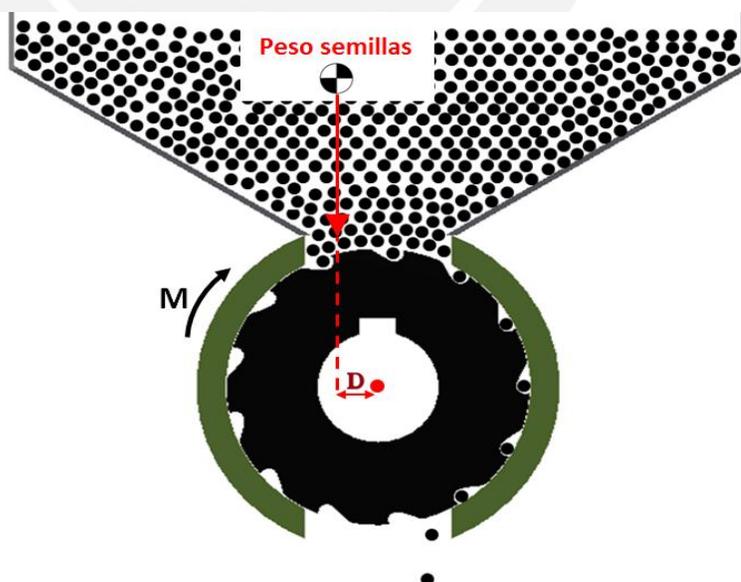


Figura 3.28. Rodillo acanalado dentro del sistema dosificador

Analizando la cinética del dosificador, tenemos el siguiente DCL:

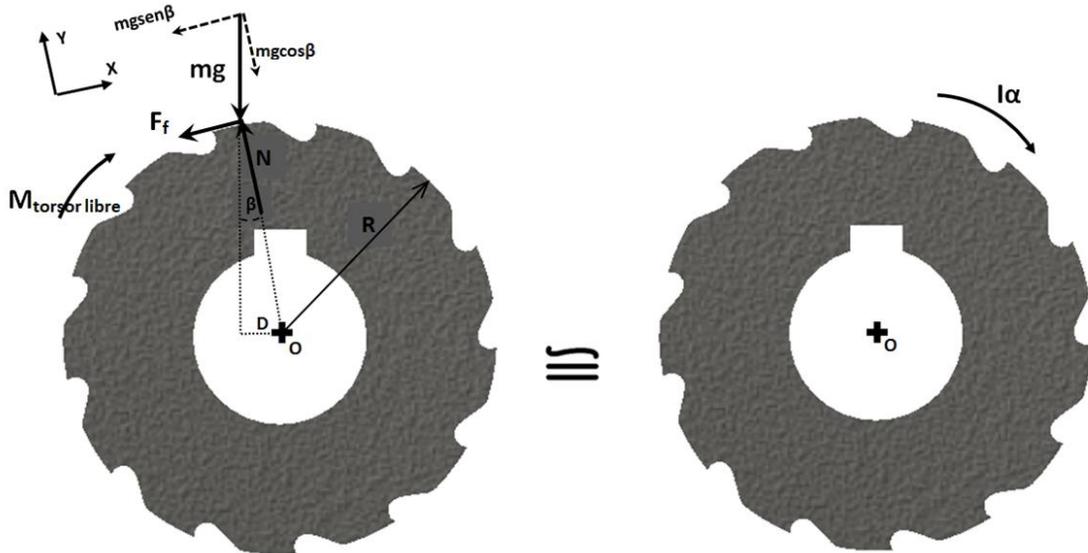


Figura 3.29. DCL rodillo acanalado

$$\sum F_y: \quad N - mg \cos \beta = 0 \tag{3.22}$$

$$\sum M_O: \quad I \cdot \alpha = M_{torsor\ libre} - F_f \cdot R + mg \sin \beta \cdot R \tag{3.23}$$

Debido a la configuración del sistema dosificador, se asumirá el peor de los casos ($\beta=0^\circ$). Por consiguiente $mg \cos \beta = mg$ (esto significa que el centro de gravedad del total de semillas pasa por el eje del rodillo acanalado).

De (3.23)

$$M_{torsor\ libre} = I \cdot \ddot{\theta} + F_f \cdot R \tag{3.24}$$

Donde:

Radio de rueda (R): $R = 0,025\text{ m}$

Inercia de la rueda (I): para el cálculo de este parámetro, se aproxima el rodillo acanalado a la forma de un cilindro sólido:

$$I = \frac{1}{2} m \times R^2 = \frac{1}{2} \times 0,98 \times 0,025^2 = 3,07 \times 10^{-4} \text{ Kg} \cdot \text{m}^2 \quad (3.25)$$

Aceleración angular ($\alpha = \ddot{\theta}$): se asumirá un diferencial de tiempo Δt en que el dosificador alcanza los 4,30 rad/s.

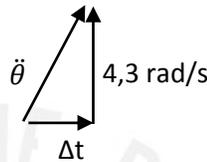


Figura 3.30. Diagrama vectorial de la aceleración

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 3.2 para los distintos valores de Δt asumidos.

Tabla 3.5. Posibles valores de aceleración angular.

Punto	Tiempo Δt (s)	Aceleración (m/s^2)
1	0,5	8,60
2	1,0	4,30
3	1,5	2,87
4	2,0	2,15
5	2,5	1,72
6	3,0	1,43

Se escoge un valor aproximado de $\Delta t = 1$ s (en la que alcanza velocidad de 4,3 rad/s), por lo que $\ddot{\theta} = 4,30 \text{ rad/s}^2$

Fuerza de fricción (F_f): como debe haber movimiento, esta fuerza debe ser la máxima permitida, por lo tanto $F_f = \mu N$. El coeficiente de fricción μ se halló experimentalmente, como el promedio de varias medidas del ángulo en el cual las semillas iniciaban su descenso en una plancha de acero como se muestra en la siguiente figura:

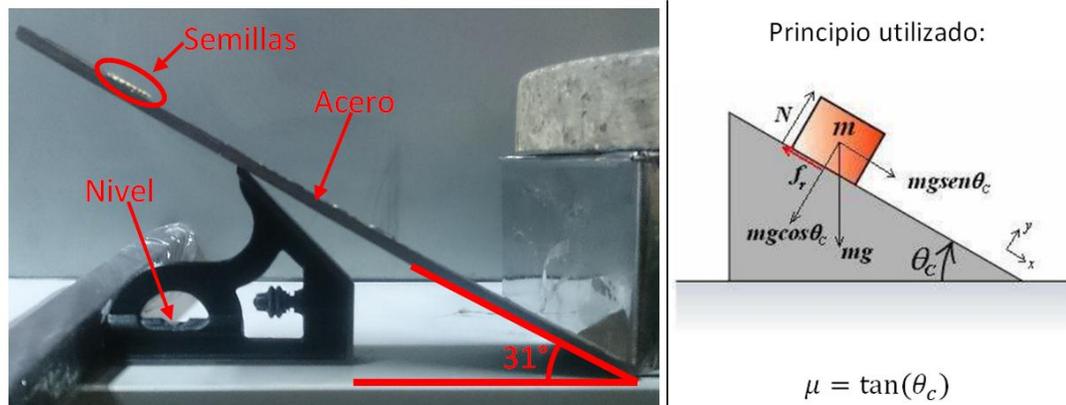


Figura 3.31. Ensayo para determinar el ángulo θ_c y el principio utilizado (PEREYRA, 2009)

Por consiguiente, el coeficiente de fricción entre la semilla y el acero es:

$$\mu = 0,6$$

Normal (N): esta fuerza es igual al peso de las semillas, ya que $\beta = 0^\circ$

$$N = mg = 0,98 \text{ Kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 9,61 \text{ N}$$

Reemplazando en la ecuación (3.24)

$$M_{\text{torsor libre}} = 3,07 \times 10^{-4} \times 4,30 + 0,6 \times 9,61 \times 0,025$$

$$M_{\text{torsor libre}} = 145,47 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

3.3.6. Potencia en el dosificador

La potencia necesaria para que el sistema del dosificador de semilla trabaje es la siguiente:

$$P_{\text{dosificador}} = M_{\text{torsor libre}} \times \omega_{\text{dosificador}} \tag{3.26}$$

$$P_{\text{dosificador}} = 0,63 \text{ W}$$

3.3.7. Cálculo del árbol de transmisión

El árbol de transmisión se encarga de transmitir el torque de la rueda dentada derecha (lado cadena de la rueda impulsora) hacia el dosificador y la rueda dentada de la

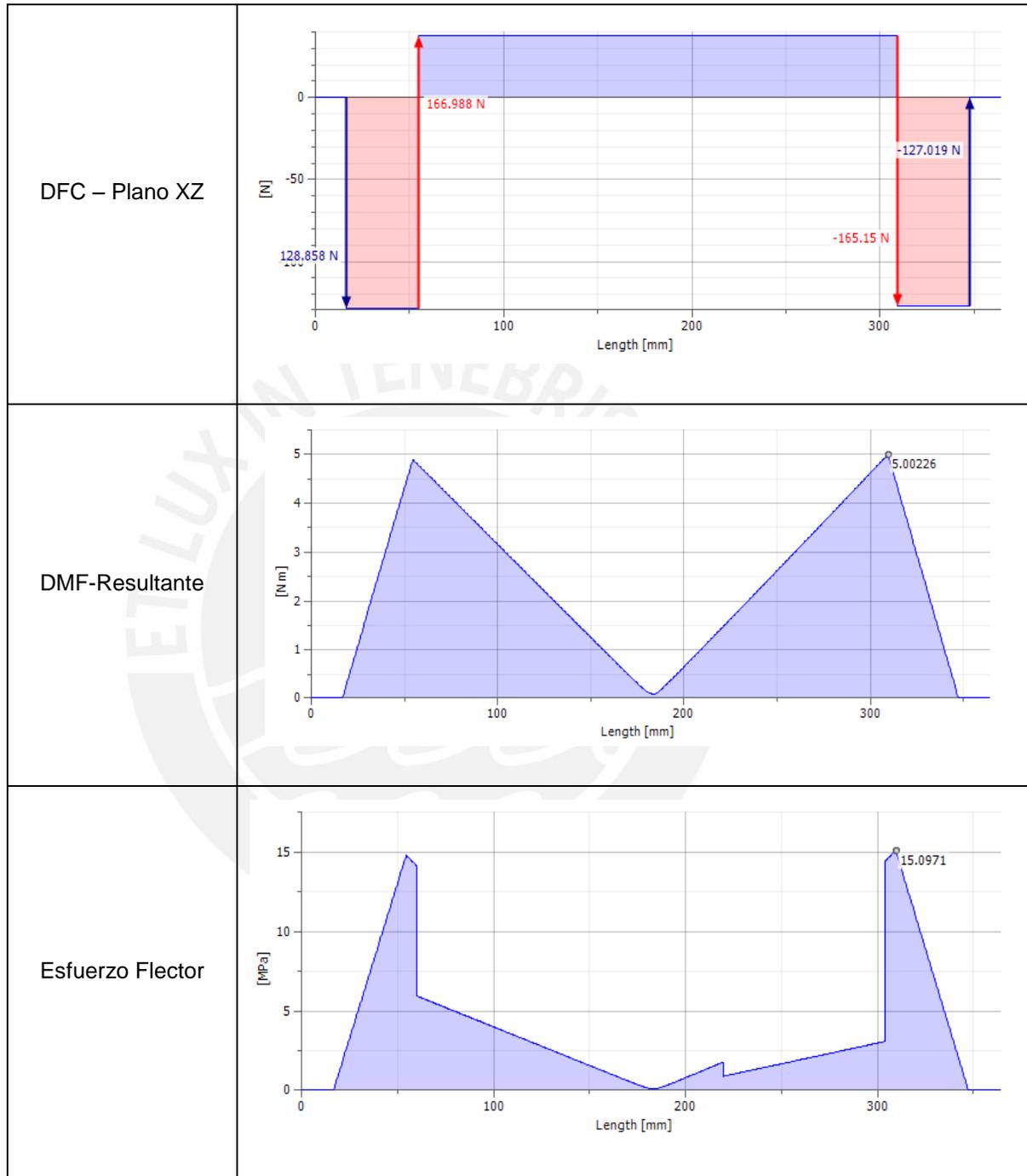
izquierda. El material del árbol es AISI 1045 (acero de medio carbono y baja aleación utilizado comúnmente para ejes y árboles).

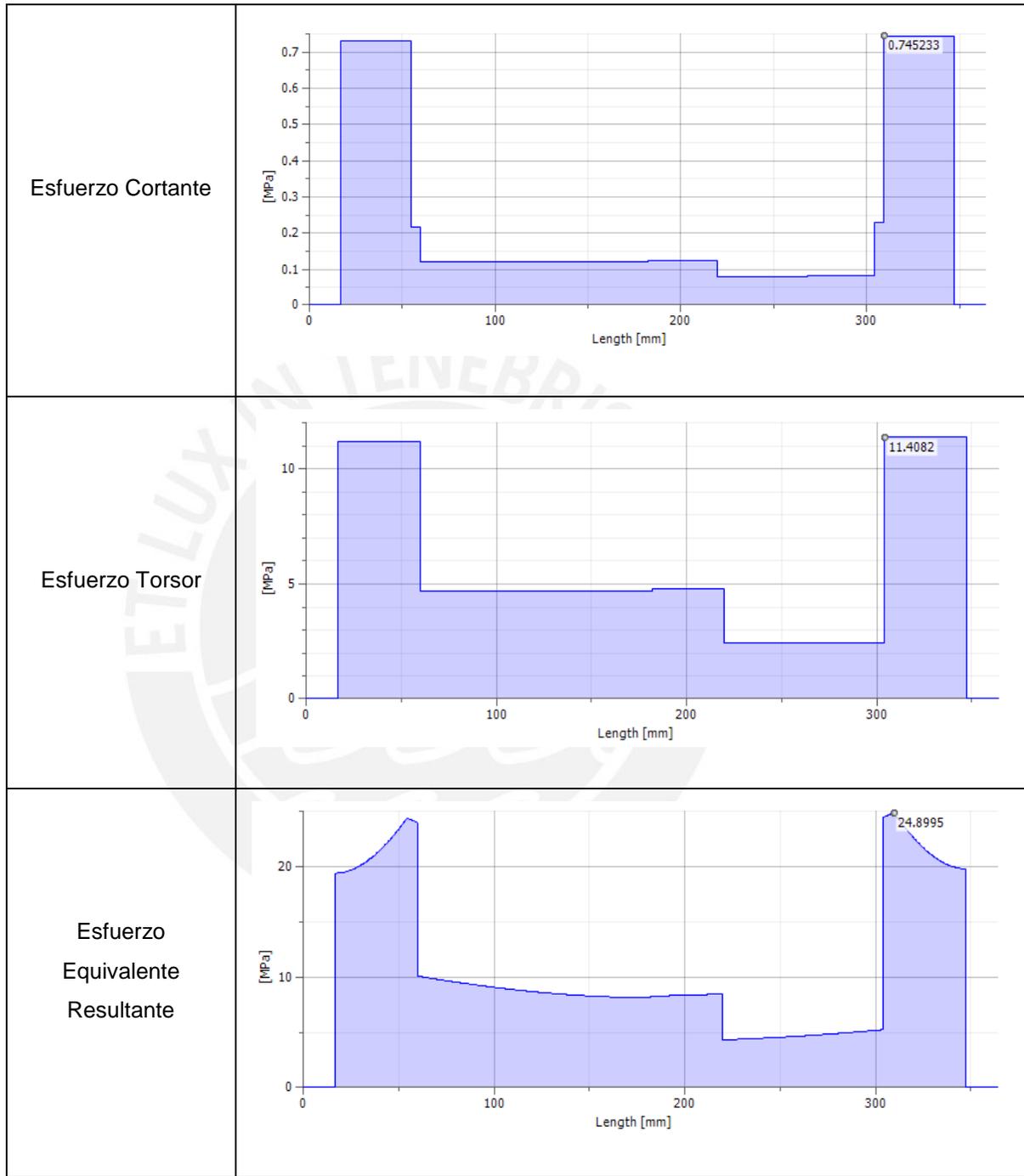
El árbol está sometido a las fuerzas tangenciales y momentos torsores transmitidos por las cadenas, además de una fuerza y un momento torsor producidos en el dosificador (mitad del eje).

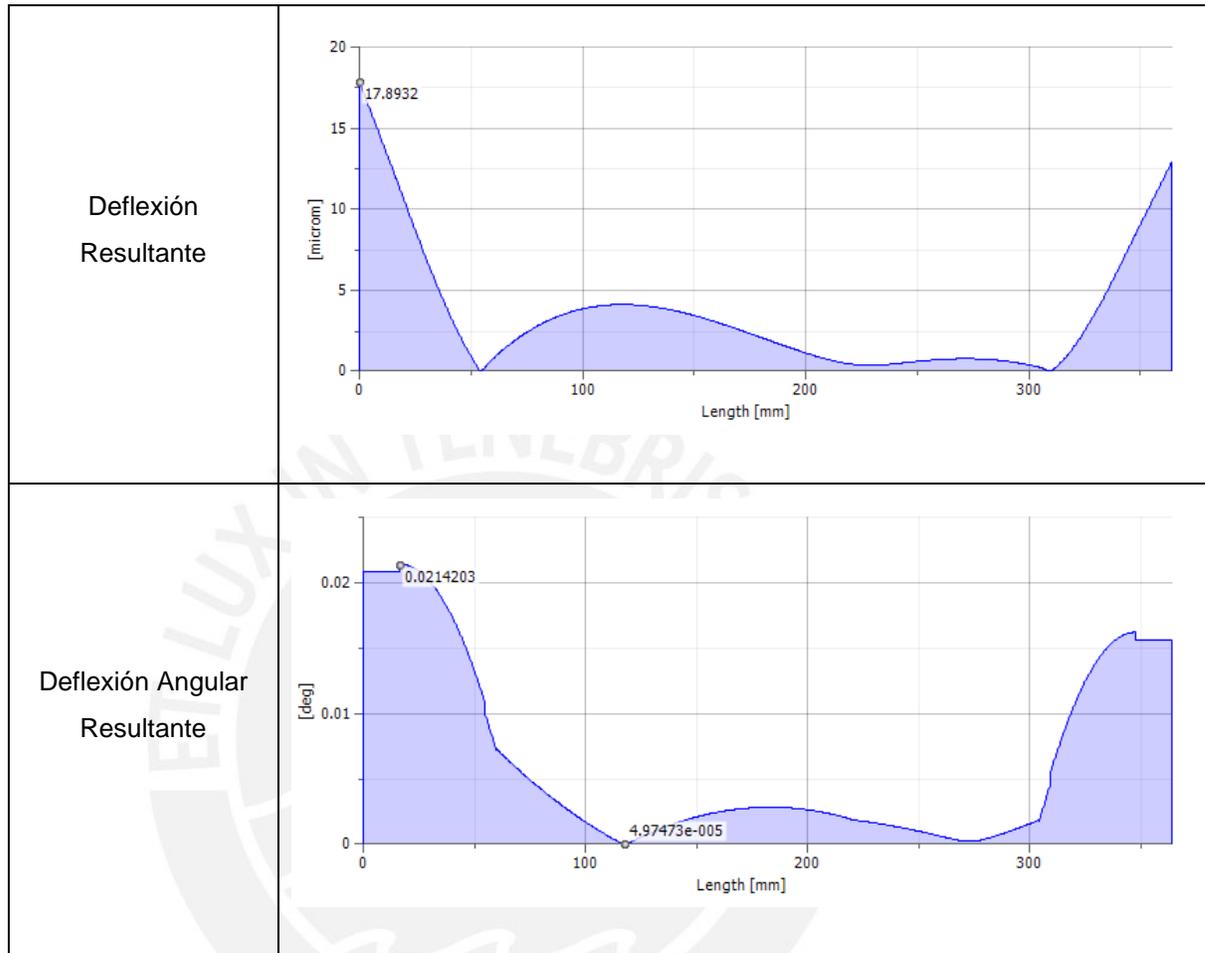
Las reacciones en los apoyos se pueden calcular fácilmente ya que son simétricos respecto al canal chavetero. En la siguiente tabla se muestra el esquema del árbol y sus principales diagramas de carga.

Tabla 3.6. Diagramas de cargas del árbol de transmisión

<p>Esquema del árbol de transmisión</p>	
<p>DFC – Plano YZ</p>	







El esfuerzo equivalente de Von-Mises máximo se presenta en la sección donde se ubica el rodamiento de la derecha (lado cadena hacia la rueda impulsora o motriz), ya que existen esfuerzos combinados de flexión y torsión, con un valor de 24,8995 MPa, se tiene un factor de seguridad de 15,7 considerando un esfuerzo de fluencia de 390 MPa para el acero AISI 1045. Se puede observar además un momento flector máximo de solo 5 Nm, esto debido a las bajas cargas a las que trabaja el árbol. Por otro lado, la deflexión máxima es 0,0178932 mm y se encuentra en el extremo izquierdo (en voladizo) del árbol; esto cumple con la recomendación de 0,5 mm/m para árboles de transmisión. Además, el desplazamiento angular en los apoyos tiene un valor de 0,01° y no sobrepasa el valor máximo de 0,17° permitido para rodamientos rígidos de bolas.

3.3.8. Análisis de fatiga

Se analiza si el árbol sufre una falla por fatiga, para dicho estudio se encontrará sometido a esfuerzos alternantes y pulsantes. Para este análisis se utilizará la expresión de C. Bach, la cual es una alternativa que no requiere descomponer los esfuerzos en sus componentes alternantes y medios.

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma'_f{}^2 + 3 * (\alpha_0 * \tau'_t)^2} \quad (3.27)$$

Donde:

$$\alpha_0 = \frac{\sigma_{fALT}}{1.73 \times \tau_{tPUL}} \quad (3.28)$$

Sin embargo, los esfuerzos de flexión y torsión están influenciados por los coeficientes de fatiga, los cuales son β_K , C_s , C_t , C_{temp} . Por lo cual los esfuerzos aumentados de flexión (σ'_f) y torsión (τ'_f) se determinan con la siguiente ecuación.

$$\sigma'_f = \frac{\beta_f}{C_s C_t C_{temp}} \times \sigma_f \quad (3.29)$$

$$\tau'_f = \frac{\beta_t}{C_s C_t C_{temp}} \times \tau_t \quad (3.30)$$

Donde el factor de concentración de esfuerzo efectivo (β_K) se determina según el tipo de carga, ya sea de flexión (β_f) o de torsión (β_t), y viene dado por la siguiente fórmula:

$$\beta_K = 1 + \eta \times (\alpha_K - 1) \quad (3.31)$$

Donde η es el factor de sensibilidad a la entalla y viene dado por:

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{8}{r} \times \left(1 - \frac{\sigma_F}{\sigma_B}\right)^3} \quad (3.32)$$

Por último, para verificar que el elemento no falle por fatiga se tiene que cumplir:

$$\sigma_{eq} \leq \frac{\sigma_{fALT}}{FS_{fat}} \tag{3.33}$$

El análisis de fatiga comprende los puntos que se muestran en la siguiente figura:



Figura 3.32. Puntos analizados a fatiga en el árbol de transmisión

Donde:

1. Cambio de sección para apoyar rodamiento
2. Cambio de sección por anillo de seguridad
3. Cambio de sección por canal chavetero
4. Cambio de sección para apoyar dosificador
5. Cambio de sección para apoyar rodamiento

En la tabla 3.7 se muestra los resultados del cálculo de factor de seguridad a la fatiga, se obtuvo un valor mínimo de 10.98 en el punto 5 por lo que el componente no falla por fatiga.

Tabla 3.7. Resultados del análisis por fatiga

PARÁMETRO	SÍMBOLO	UNIDADES					
Material	-	-	AISI 1045				
Esfuerzo de fluencia	σ_F	MPa	390				
Esfuerzo de rotura	σ_B	MPa	650				
Esfuerzo alternante de flexión	σ_{fALT}	MPa	370				
Esfuerzo pulsante de flexión	σ_{fPUL}	MPa	620				
Esfuerzo alternante de corte	τ_{tALT}	MPa	260				
Esfuerzo pulsante de corte	τ_{tPUL}	MPa	340				
Módulo de elasticidad	E	MPa	210000				
Módulo de corte	G	MPa	80000				
ANÁLISIS POR FATIGA			1	2	3	4	5
Esfuerzo de flexión	σ_f	MPa	7	4	1	2	14
Esfuerzo de torsión	τ_t	MPa	11	4.8	4.8	4.8	11.4
Coefficiente de fatiga	α_o	-	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63
Coefficiente de superficie	C_s	-	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
Coefficiente de tamaño	C_t	-	0.90	0.83	0.83	0.83	0.90
Coefficiente de temperatura	C_{temp}	-	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Factor de sensibilidad a la entalla	η	-	0.61	-	-	0.61	0.61

Factor geométrico de conc. de esfuerzo para carga de flexión	α_K	-	1.80	-	-	1.95	1.90
Factor geométrico de conc. de esfuerzo para carga de torsión	α_K	-	1.55	-	-	1.55	1.55
Factor efectivo de concentración de esfuerzo de flexión	β_f	-	1.49	3.50	2.40	1.58	1.55
Factor efectivo de concentración de esfuerzo de torsión	β_t	-	1.34	3.50	1.60	1.34	1.34
Esfuerzo de flexión aumentado	σ'_f	MPa	12.86	18.74	3.21	4.23	26.77
Esfuerzo de torsión aumentado	τ'_t	MPa	18.14	22.49	10.28	8.58	18.80
Esfuerzo equivalente aumentado	σ'_{eq}	MPa	23.57	30.85	11.65	10.26	33.71
Factor de seguridad a la fatiga	FS_{fat}	-	15.69	11.99	31.75	36.06	10.98

3.3.9. Cálculo de la transmisión por chaveta

Las chavetas son las encargadas de transmitir la potencia entre elementos que estén dispuestos en sentido axial. Para el diseño, se emplearán chavetas según la norma DIN 6885 A.

Para el diseño de la transmisión entre el árbol (cubo) y el dosificador de semillas se debe determinar las especificaciones de la chaveta. Por otro lado, el material del cubo es acero, por lo que su presión de aplastamiento admisible varía de 90 a 100 MPa. Así que para realizar este cálculo se tomará un valor intermedio.

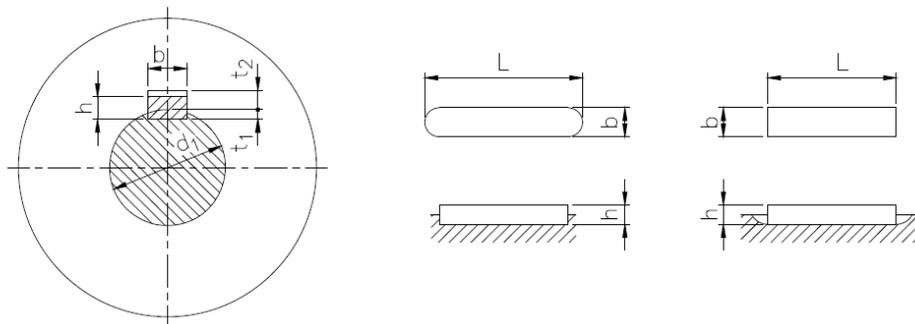


Figura 3.33. Unión mediante chaveta según DIN 6885

Los parámetros iniciales son los siguientes:

Presión admisible del cubo : $p_{adm} = 95 \text{ N/mm}^2$

Momento torsor a transmitir : $M_t = 0,15 \text{ N.m}$

Diámetro de la sección : $d = 20 \text{ mm}$

En este cálculo no se hallarán todas las dimensiones de la chaveta, debido a que estas ya se encuentran normalizadas, empero se tiene que seleccionar una longitud que cumpla con los requerimientos de resistencia. Expuesto lo anterior, este cálculo se basa en hallar la longitud mínima efectiva que debe poseer dicha chaveta para asegurar una buena transmisión de potencia y evitar una falla por exceso de la presión de aplastamiento. La longitud mínima efectiva se determina mediante la siguiente fórmula:

$$L_{ef} = \frac{2 \times M_t}{d \times p_{adm} \times t} \quad (3.34)$$

Donde “t” es la profundidad que penetra la chaveta en el cubo. Con el diámetro de la sección ($d = 20 \text{ mm}$) ya se tienen valores normalizados que se encuentran en cualquier catálogo DIN 6885, los cuales son:

Ancho de la chaveta (b)	$b = 6 \text{ mm}$
Espesor de la chaveta (h)	$h = 6 \text{ mm}$
Espesor efectivo de la chaveta ($t = h - t_1$)	$t = 2,5 \text{ mm}$

Con estos datos queda definida la longitud mínima efectiva de la chaveta según la ecuación (3.34):

$$L_{ef} = \frac{2 \times 7,56}{0.020 \times 95 \times 10^6 \times 0.0025} = 3,18 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$L_{chaveta} = L_{ef} + b = 3,18 + 6 = 9,18 \text{ mm}$$

Se selecciona la longitud de chaveta de caras planas que se encuentre normalizada y se halle más cerca al valor calculado. En este caso se selecciona una chaveta con una longitud de 14 mm.

La chaveta seleccionada tiene una designación de DIN6885 6x6x14

3.3.10. Selección de los rodamientos

En esta sección se verificarán los dos rodamientos que van montados como apoyos en el árbol del sistema de dosificación de semillas. Para soportar las cargas en el árbol de transmisión, se utilizó rodamientos rígidos de bolas obturados SKF 6202-2Z porque requieren poco mantenimiento y no son desarmables (poseen protección para evitar el ingreso de partículas al interior). Además los rodamientos obturados no necesitan relubricación mientras que la temperatura de funcionamiento no exceda los 70 °C y la velocidad de giro esté por debajo del 50% de las velocidades límite que se muestran en las tablas del producto. Las condiciones de operación de la máquina permite que se cumplan estas condiciones por lo tanto se aprovechará esta característica.

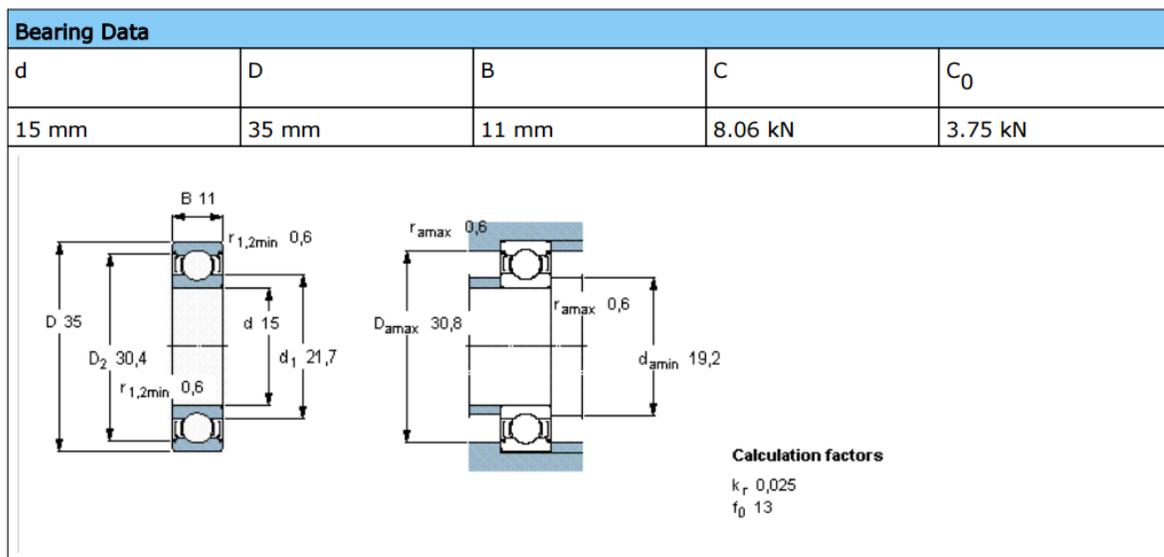


Figura 3.34. Datos del rodamiento 6202-2Z

Las cargas radiales que se generan en los rodamientos son: 167,2 y 172,1 N. Como los rodamientos son los mismos para el árbol. Se realizará el cálculo de duración de vida para la mayor carga.

A continuación se muestra una tabla donde se resumen los valores para el cálculo de la vida de los rodamientos.

Tabla 3.7. Cálculo de la vida de los rodamientos rígidos de bolas

Rodamiento 6202-2Z		
DATOS DE ENTRADA		
Carga Radial	kN	0.172
Carga Axial	kN	0
Velocidad de rotación de aro interior	r/min	41.1
Temperatura de trabajo	°C	40
Tipo de ambiente de trabajo		Limpieza normal (rodamientos cubiertos)
Grasa (código SKF)		MT47
Viscosidad a 40°C	mm ² /s	70
Viscosidad a 100 °C	mm ² /s	7.3
RESULTADOS		
Vida del rodamiento (L_{10mh})	horas	>1000000
Factor de modificación de ciclo de vida (a _{SKF})		0.14
Relación de viscosidad (k)		0.18
Carga equivalente	kN	0.17
Factor de nivel de contaminación (η _c)		0.05
Viscosidad cinemática requerida para k=1	mm ² /s	383.3
Vida nominal (L _{10h})	horas	>1000000
Vida de la grasa en rodamientos cubiertos (L ₁₀)	horas	100000
Factor de carga (C/P)		47.4

3.3.11. Tornillos prisioneros

La función del tornillo prisionero es mantener unido el elemento de transmisión de potencia y el árbol donde va a ser montado. Esta función también permite transmitir potencia, por lo que se verificarán por corte, debido al esfuerzo cortante que causa cada momento torsor de cada árbol. En el anexo 5 se encuentra el cálculo detallado de la verificación de falla.

A continuación se muestra la configuración del sistema de dosificación de semillas:

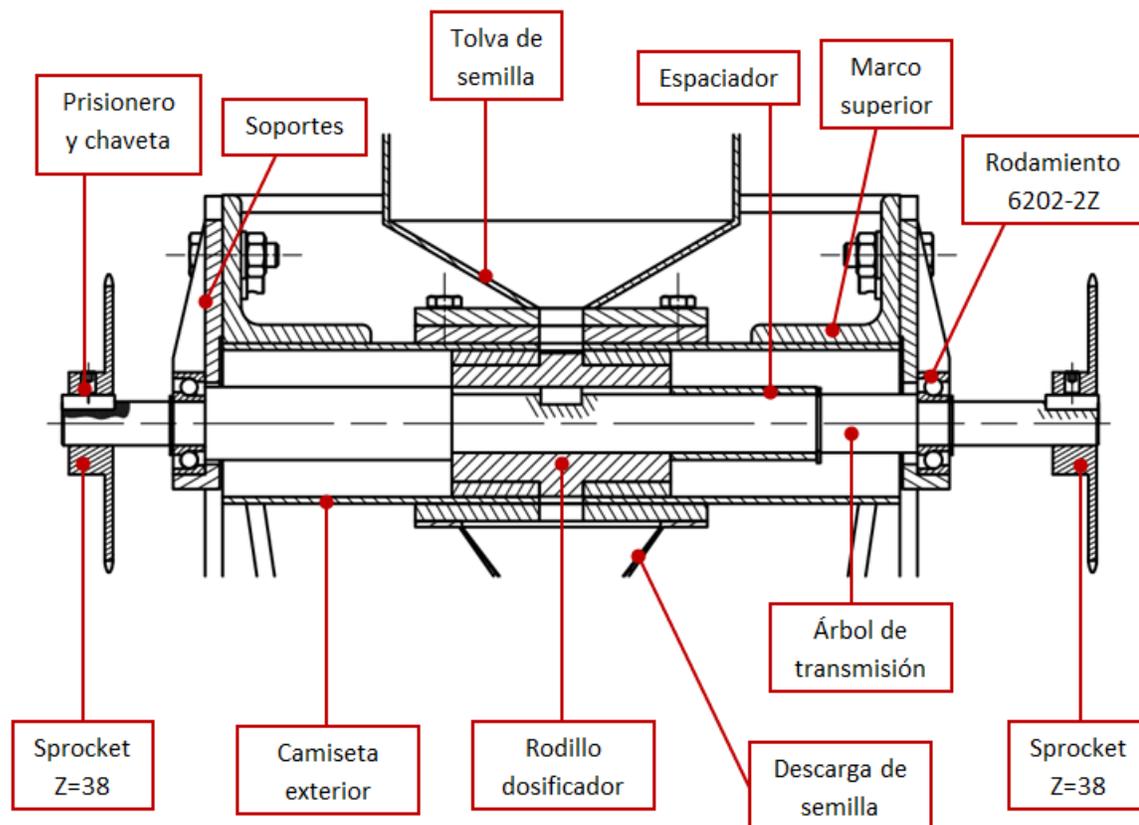


Figura 3.35. Configuración de sistema dosificación de semilla

3.4. SISTEMA DE DOSIFICACION DE ABONO

Este sistema es muy parecido al de semillas, por lo que la información completa sobre los cálculos se puede ver en el anexo (1). A continuación se presentará un resumen de los resultados:

3.4.1. Densidad de siembra: *150 kg de abono/Ha*

3.4.2. Número de alvéolos: *13 alvéolos*

3.4.3. Volumen de los alvéolos

$$\text{Volumen de un (01) alvéolo} = 1073 \text{ mm}^3$$

3.4.4. Torque en el dosificador

$$M_{torsor\ libre} = 7,41\ N \cdot m$$

3.4.5. Potencia en el dosificador

$$P_{dosificador\ de\ abono} = 31,86\ W$$

3.4.6. Cálculo de árbol de transmisión

El esfuerzo equivalente de Von-Miseses máximo se presenta en la sección donde se ubica el canal chavetero, ya que existen esfuerzos combinados de flexión y torsión, con un valor de 19,7406 MPa, se tiene un factor de seguridad de 19,7 considerando un esfuerzo de fluencia de 390 MPa para el acero AISI 1045. Se puede observar además un momento flector máximo de solo 29,6 Nm, esto debido a las bajas cargas a las que trabaja el árbol. Por otro lado, la deflexión máxima es 0,0407164 mm y se encuentra en el canal chavetero del árbol; esto cumple con la recomendación de 0,5 mm/m para árboles de transmisión. Además, el desplazamiento angular en los apoyos tiene un valor de 0,03° y no sobrepasa el valor máximo de 0,17° permitido para rodamientos rígidos de bolas.

3.4.7. Análisis de fatiga

No falla en ninguno de los cambios de sección, ya que el mínimo valor de factor de seguridad a la fatiga es 5.82.

3.4.8. Cálculo de la transmisión por chaveta

La chaveta seleccionada tiene una designación de DIN6885 8x7x18

3.4.9. Selección de los rodamientos

Se utilizará rodamientos rígidos de bolas obturados SKF 6204-2Z, que tienen una duración de vida mayor, según cálculo, al 1 000 000 de horas en operación.

3.3.10. Tornillos prisioneros

En el anexo 5 se encuentra el cálculo detallado de la verificación de falla.

3.5. SELECCIÓN DE CADENAS

En este acápite se desarrollará el proceso de selección de las 2 cadenas para cada módulo de siembra.

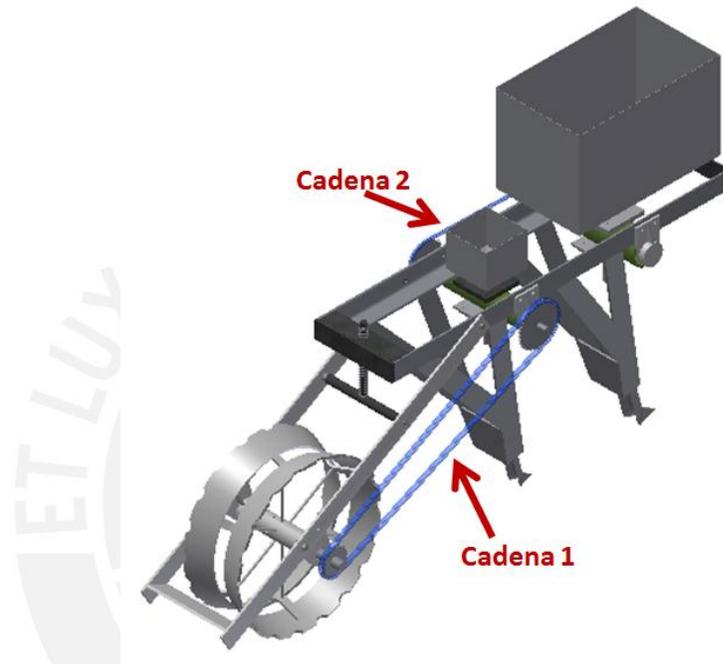


Figura 3.35. Ubicación de las cadenas en un módulo

PASO 1: Seleccionar la relación de transmisión

SELECCIONAR LA RELACION Y LOS PIÑONES $\frac{Z_2}{Z_1}$

RELACION DE REDUCCION DE LA TRANSMISION
UTILIZANDO LOS PIÑONES SELECCIONADOS

TABLA 1

No de dientes del Piñón Conducido Z_2	No de dientes del Piñón Motriz Z_1					
	15	17	19	21	23	25
25						1.00
38	2.53	2.23	2.00	1.80	1.65	1.52
57	3.80	3.35	3.00	2.71	2.48	2.28
76	5.07	4.47	4.00	3.62	3.30	3.04
95	6.33	5.59	5.00	4.52	4.13	3.80
114	7.60	6.70	6.00	5.43	4.96	4.56

Figura 3.36. Relación de transmisión en cadenas.

De la figura 3.36:

CADENA 1:

$$i = 1,5$$

$$Z_1 = 25$$

$$\omega_1 = 61,7 \text{ RPM}$$

$$Z_2 = 38$$

$$\omega_2 = 41,1 \text{ RPM}$$

CADENA 2:

$$i = 1$$

$$Z_3 = 38$$

$$\omega_3 = 41,1 \text{ RPM}$$

$$Z_4 = 38$$

$$\omega_4 = 41,1 \text{ RPM}$$

PASO 2: Determinar el factor de selección

CHART 2

CARACTERÍSTICAS DE LA MÁQUINA A MOVER		CARACTERÍSTICAS DEL PROPULSOR		
		FUNCIONAMIENTO SUAVE Motores eléctricos, Turbinas a vapor y gas, Motores de explosión con acoplamiento hidráulico	LIGERAMENTE IMPULSIVO Motores de explosión de 6 o más cilindros con acoplamiento mecánico, Motores eléctricos con arrancadas frecuentes	MEDIANAMENTE IMPULSIVO Motores de explosión de menos de 6 cilindros con acoplamiento mecánico
FUNCIONAMIENTO SUAVE	Bombas centrífugas y Compresores, Máquinas de Imprenta, Calandras de papel, Cintas transportadoras con cargas uniformes, Escaleras, Agitadores de líquidos y Mezcladores, Secadores rotativos, Ventiladores.	1	1.1	1.3
MEDIANAMENTE IMPULSIVA	Bombas y compresores (3 cil+) Hormigoneras, Cintas transportadoras con cargas no uniformes, Agitadores y Mezcladores de sólidos.	1.4	1.5	1.7
ALTAMENTE IMPULSIVA	Aplanadoras, Excavadoras, Molinos de bolas, Molinos mezcladores de caucho, Prensas y Cizallas, Bombas y Compresores de 1 & 2 cil.	1.8	1.9	2.1

Figura 3.37. Factor de aplicación de cadenas.

Para ambas cadenas, la máquina presenta cargas altamente impulsivas y funcionamiento suave. Por lo tanto:

$$f_1 = 1,8$$

El factor de diente f_2 se calcula utilizando la ecuación $f_2 = \frac{19}{Z_1}$

Factores f_2 para piñones de medidas standard

Z_1	f_2
15	1.27
17	1.12
19	1.00
21	0.91
23	0.83
25	0.76

Figura 3.38. Factor de diente.

Cadena 1: $f_2 = 0,76$

Cadena 2: $f_2 = \frac{19}{38} = 0,50$

PASO 3: Cálculo para la selección de potencia

$$Potencia = Potencia\ a\ transmitir \times f_1 \times f_2$$

Cadena 1: $Potencia = 32,51 \times f_1 \times f_2 = 44,5\ W$

Cadena 2: $Potencia = 31,86 \times f_1 \times f_2 = 28,7\ W$

PASO 4: Selección de la cadena

Usamos la tabla de relación ANSI, por ser más económico y ocupar menos espacio, el tipo de cadena simple. Además se tienen potencias menores a la mínima en la tabla de la figura 3.39. Por lo tanto, se utilizará como potencia de selección a 0,10 kW

De la gráfica se obtiene un paso de 9,525 mm para ambas cadenas.

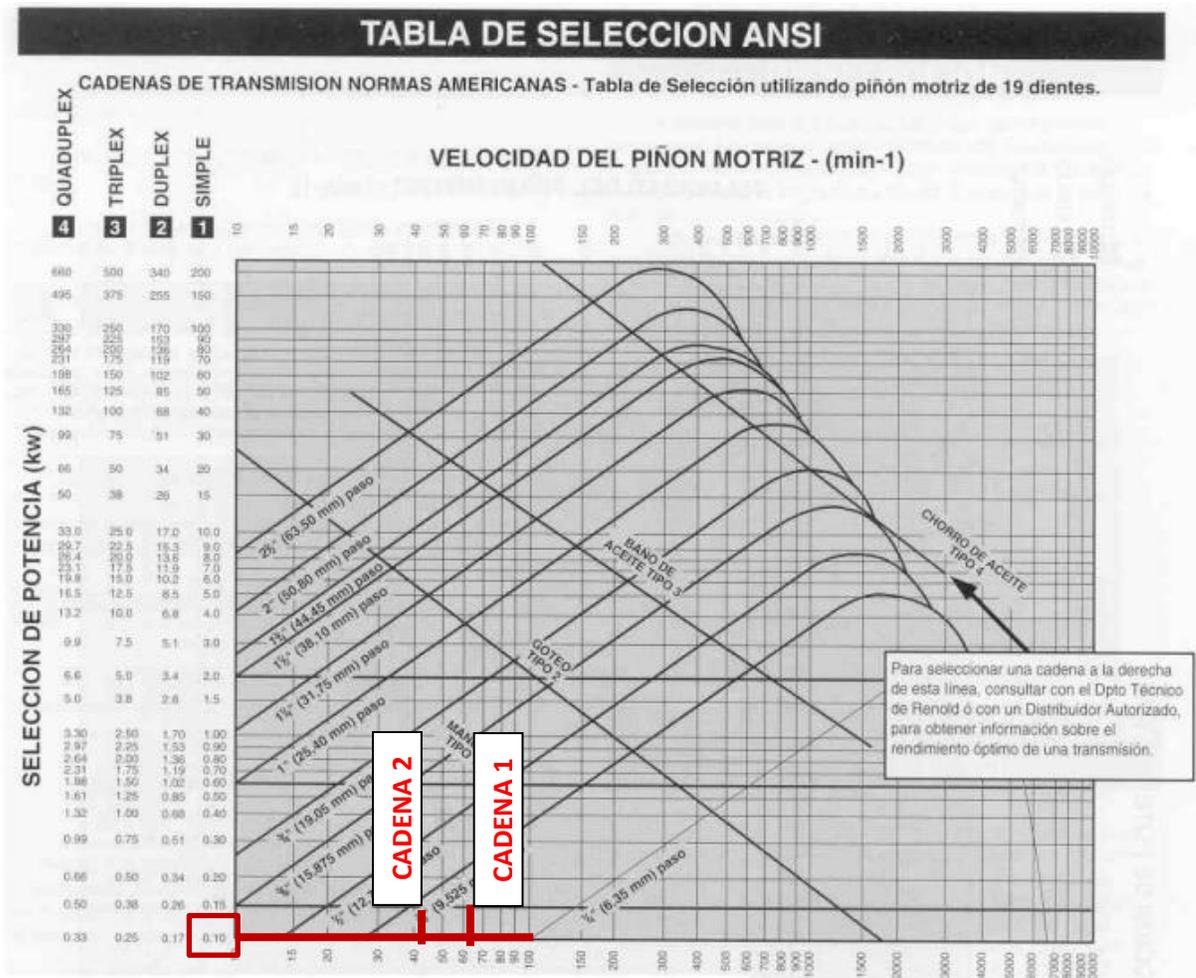


Figura 3.39. Selección de cadenas ANSI.

PASO 5: Longitud de la cadena

Longitud de la cadena 1 = 1666,9 mm

eslabones = 165,00 ≈ 165 eslabones

Longitud de la cadena 2 = 1047,8 mm

eslabones = 110,00 ≈ 110 eslabones

3.6. SISTEMA DE SURCADO Y SALIDA DE SEMILLA

Se utilizará una reja surcadora, ya que es de fácil construcción y útil en terrenos pedregosos como el suelo ayacuchano. Este elemento va unido al dosificador por medio de un tubo flexible que asegura la correcta dispersión de la semilla a su llegada al suelo.

La profundidad de siembra estará asegurada por el control hidráulico del enganche de tres puntos (ANEXO 6).

Se aplicará un DCL donde se observe las fuerzas que actúan sobre la reja surcadora considerada independiente en el sistema de la sembradora.

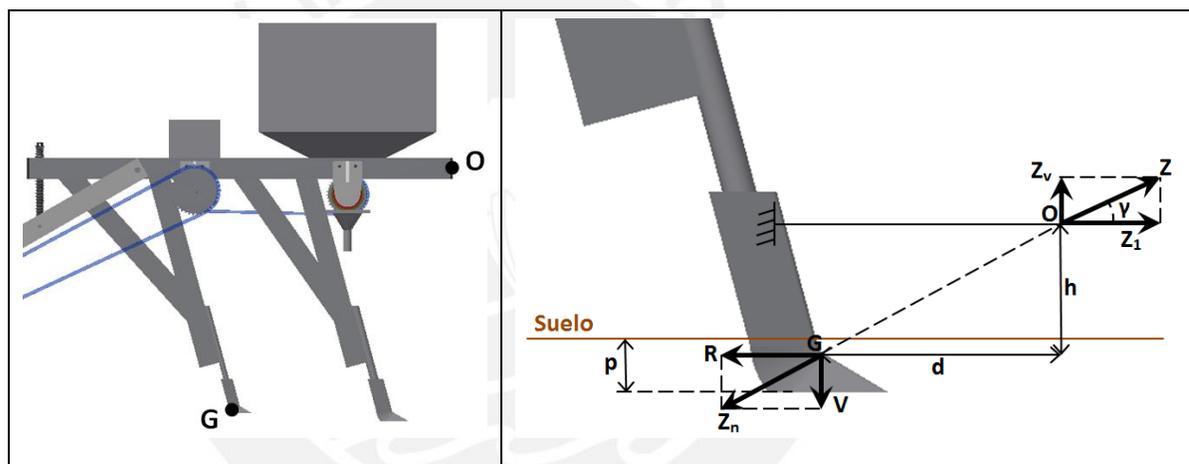


Figura 3.40. DCL de Surcadora

Donde:

R: componente horizontal de la resistencia del terreno. Su valor depende de la preparación del terreno y de su constitución, así como si tiene o no piedras, terrones, etc.

V: componente vertical de la resistencia del terreno.

G: centro de resistencia por el que pasan las fuerzas anteriores

O: punto de enganche de la reja al bastidor de la máquina

P: profundidad de siembra

d, h : distancias entre G y O

Z: fuerza de tracción.

Para que el sistema de fuerzas esté en equilibrio, se debe cumplir:

$$Z_v = V \quad (3.35)$$

$$Z_1 = R \quad (3.36)$$

Y tomando momentos respecto a O:

$$R \cdot h = (V) \cdot d \quad (3.37)$$

Se deduce de esto que:

$$V = \frac{R \cdot h}{d} \quad (3.38)$$

Por lo tanto:

$$Z = \sqrt{Z_v^2 + Z_1^2} \quad (3.39)$$

Para hallar la fuerza R, se realizó varios ensayos sobre el terreno durante la visita al departamento de Ayacucho. El resultado se observa en la figura 3.41.



Figura 3.41. Componente horizontal de la resistencia del terreno (R)

Por lo tanto:

$$R = 49 \text{ N}$$

Los datos y resultados para los dos surcadores se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 3.8. Resultados de fuerzas en los surcadores

Parámetro	Surcador para semillas	Surcador para abono
h (mm)	564	584
d (mm)	508	140
R (N)	49	49
V (N)	44.1	11.8

3.7. VERIFICACION DE RODADURA EN LA RUEDA MOTRIZ

En este acápite se estudiarán los casos en los cuales trabaja la sembradora para diferentes inclinaciones de terreno.

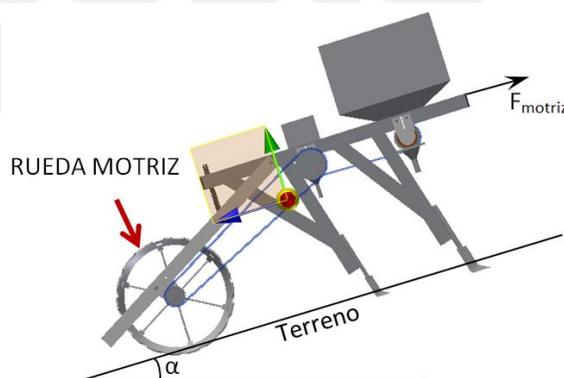


Figura 3.42. Esquema de un módulo.

3.7.1. CASO 1: Máquina sin carga

Inclinación de los terrenos:

$$\alpha = 30^\circ$$

3.7.1.1. Cinética del módulo de siembra

Masa total de la sembradora (01 módulo vacío): 55,17 Kg

Coefficiente de fricción entre metal y tierra (ORTIZ CAÑAVATE, 1989):

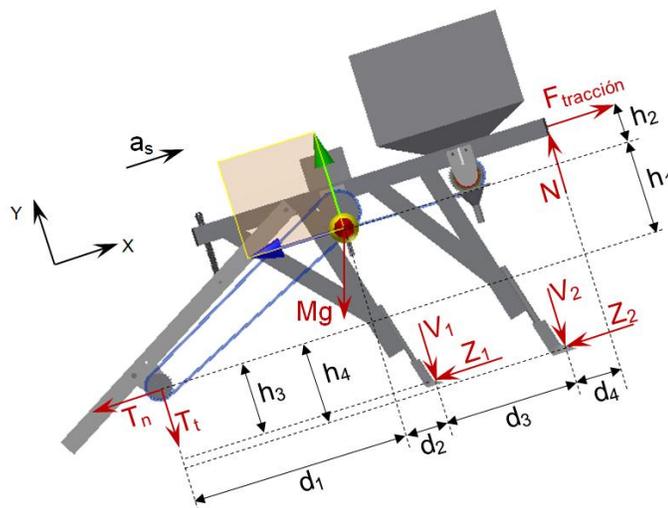


Figura 3.43. DCL de un módulo

$$\sum F_x: \quad F - T_n - Mg \sin \alpha - Z_1 - Z_2 = M \cdot a_s \quad (3.40)$$

$$\sum F_y: \quad N - T_t - Mg \cos \alpha - V_1 - V_2 = 0 \quad (3.41)$$

$$\sum M_T: \quad -Mg \cos \alpha (d_1) + Mg \sin \alpha (h_1) - Z_1(h_3) - V_1(d_1 + d_2) - Z_2(h_4) - V_2(d_1 + d_2 + d_3) - F(h_1 + h_2) + N_2(d_1 + d_2 + d_3 + d_4) = 0 \quad (3.42)$$

De (3.40)

De (3.41)

(3.40) y (3.41) en (3.42)

$$Mg[\cos \alpha (d_2 + d_3 + d_4) - \sin \alpha (h_2)] - Ma_r(h_1 + h_2) - Z_1(h_1 + h_2 + h_3) - Z_2(h_1 + h_2 + h_4) + V_1(d_3 + d_4) + V_2(d_4) - T_n(h_1 + h_2) + T_t(d_1 + d_2 + d_3 + d_4) = 0 \quad (3.43)$$

De donde despejamos T_t en función de las demás variables:

$$T_t = -\frac{A}{d_1 + d_2 + d_3 + d_4} \quad (3.44)$$

Donde:

$$A = Mg[\cos \alpha (d_2 + d_3 + d_4) - \sin \alpha (h_2)] - Ma_r(h_1 + h_2) - Z_1(h_1 + h_2 + h_3) - Z_2(h_1 + h_2 + h_4) + V_1(d_3 + d_4) + V_2(d_4) - T_n(h_1 + h_2)$$

Tabla 3.9. Datos del centro de gravedad

$h_1 = 261.6 \text{ mm}$	$d_1 = 611.5 \text{ mm}$
$h_2 = 98.5 \text{ mm}$	$d_2 = 169.0 \text{ mm}$
$h_3 = 207.1 \text{ mm}$	$d_3 = 300.0 \text{ mm}$
$h_4 = 220.9 \text{ mm}$	$d_4 = 144.1 \text{ mm}$

3.7.1.2. Cinética de la rueda motriz

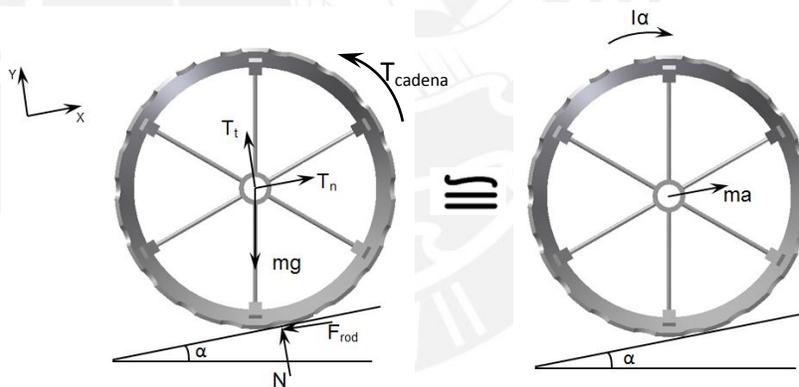


Figura 3.44. DCL de la rueda motriz.

$$\sum F_x: \quad T_n - mg \sin \alpha - F_{rod} = m \cdot a \quad (3.45)$$

$$\sum F_y: \quad T_t + N' - mg \cos \alpha = 0 \quad (3.46)$$

$$\sum M_T: \quad I \cdot \ddot{\theta} = F_{rod} \cdot r - T_{cadena} \quad (3.47)$$

De (3.46) $N' = mg \cos \alpha - T_t$

De (3.47) $F_{rod} = \frac{I \cdot \ddot{\theta} + T_{cadena}}{r}$

(3.46) y (3.47) en (3.45)

$$T_n = mg \sin \alpha + m \cdot a + \frac{I \cdot \ddot{\theta} + T_{cadena}}{r} \quad (3.48)$$

Se sabe que $\ddot{X} = r \cdot \ddot{\theta} \rightarrow a = r \cdot \ddot{\theta}$

Masa total de la rueda: $m = 10,695 \text{ Kg}$

Radio de la rueda: $r = 0,215 \text{ m}$

Inercia de la rueda (I): para el cálculo de este parámetro, se aproxima la rueda a la forma de un anillo cilíndrico:

Momentos de inercia de diversos cuerpos

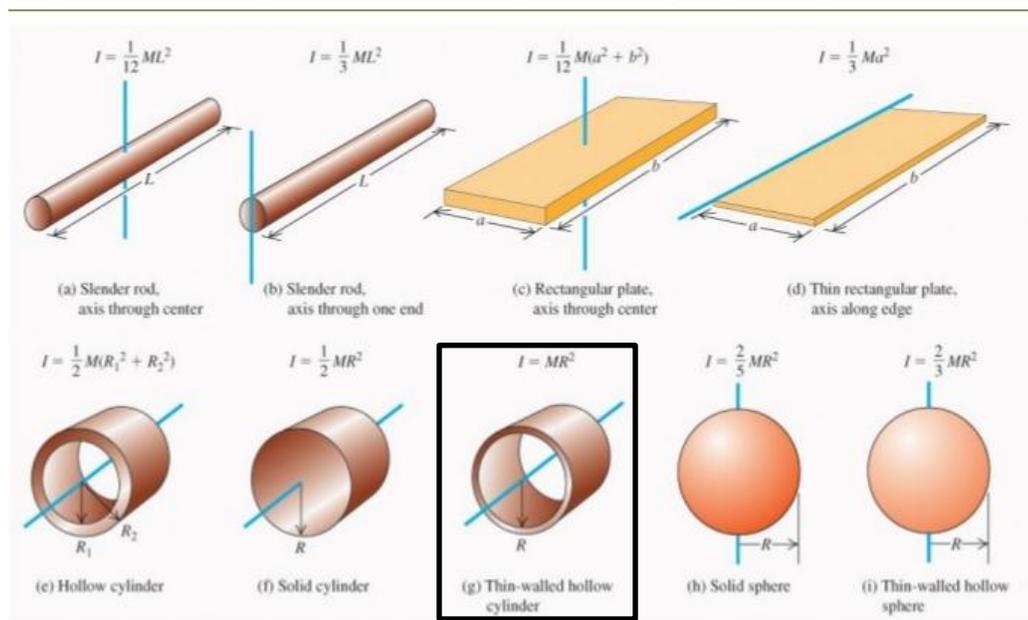


Figura 3.45. Momentos de inercia (MILACHAY)

$$I = m \times r^2 = 10,695 \times 0,215^2 = 0,494 \text{ Kg} \cdot \text{m}^2 \quad (3.49)$$

Aceleración de la sembradora (a): se asumirá un diferencial de tiempo Δt para que el tractor alcance los 5 km/h.

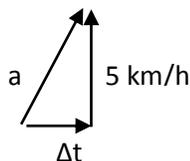


Figura 3.46. Diagrama vectorial de la aceleración

Los resultados se muestran en la tabla 3.10 para los distintos valores de Δt asumidos.

Tabla 3.10. Aceleración del tractor.

Punto	Tiempo Δt (s)	Aceleración (m/s^2)
1	0,5	2,78
2	1,0	1,39
3	1,5	0,93
4	2,0	0,70

Se escoge un valor aproximado de $\Delta t = 1$ s (en la que alcanza velocidad de 5 km/h), por lo que $a = 1,39$ m/s^2

El cálculo completo se encuentra en el anexo 2. A continuación se mostrará una tabla con los valores obtenidos para cada caso:

Tabla 3.11. Valores de las fuerzas para diferentes inclinaciones de terreno

	1	2	3	4
	$\alpha = 30^\circ$	$\alpha = 20^\circ$	$\alpha = 10^\circ$	$\alpha = 0^\circ$
T_n (N)	117.3	100.8	83.1	64.9
T_t (N)	-153.6	-185.3	-210.0	-227.1
F (N)	562.5	460.5	351.7	239.6
$N_{máquina}$ (N)	573.7	581.9	581.6	572.8
F_{rod} (N)	50.1	50.1	50.1	50.1
N (N)	244.4	286.6	316.1	334.7
F_f (N)	91.5	105.0	115.9	122.8
Cumple $F_{rod} < F_f$?	OK!	OK!	OK!	OK!

3.7.2. CASO 2: Máquina con carga

Masa total de la sembradora (01 módulo lleno): 106,17 Kg

En este caso, la posición del centro de gravedad cambiará respecto al caso anterior. Los nuevos datos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 3.12. Datos del nuevo centro de gravedad

$h_1 = 360.1 \text{ mm}$	$d_1 = 721.1 \text{ mm}$
$h_2 = 0.0 \text{ mm}$	$d_2 = 59.4 \text{ mm}$
$h_3 = 207.1 \text{ mm}$	$d_3 = 300.0 \text{ mm}$
$h_4 = 220.9 \text{ mm}$	$d_4 = 144.1 \text{ mm}$

El cálculo completo se encuentra en el anexo 3. A continuación se mostrará una tabla con los valores obtenidos para cada ángulo de inclinación:

Tabla 3.13. Valores de las fuerzas para diferentes inclinaciones de terreno

	1	2	3	4
	$\alpha = 30^\circ$	$\alpha = 20^\circ$	$\alpha = 10^\circ$	$\alpha = 0^\circ$
$T_n \text{ (N)}$	117.3	100.8	83.1	64.9
$T_t \text{ (N)}$	-290.7	-327.1	-351.6	-363.4
$F \text{ (N)}$	883.5	702.4	509.5	310.5
$N_{\text{máquina}} \text{ (N)}$	869.8	910.1	932.6	936.5
$F_{\text{rod}} \text{ (N)}$	50.1	50.1	50.1	50.1
$N \text{ (N)}$	381.5	425.6	454.9	468.3
$F_f \text{ (N)}$	141.2	157.5	168.3	173.3
Cumple $F_{\text{rod}} < F_f$?	OK!	OK!	OK!	OK!

3.8. TOLVAS

Las tolvas de la máquina estarán ubicadas, por encima de los dosificadores. Como se observa en la figura 3.47.

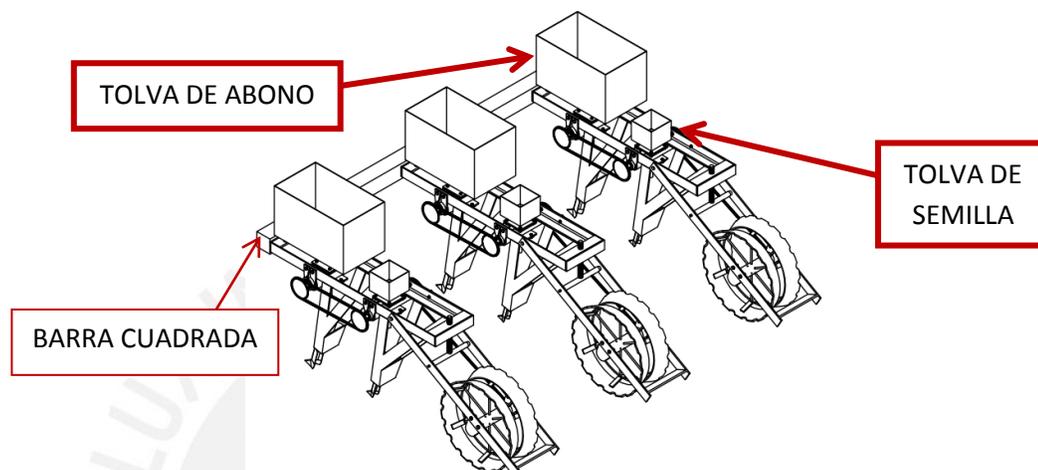


Figura 3.47. Ubicación de las tolvas en la máquina

Las tolvas serán fabricadas de planchas de acero ASTM A-36 de 2 mm de espesor mediante soldadura por puntos. Ambas poseen una salida en la parte inferior para que el material ingrese por gravedad a los dosificadores. Las dimensiones principales de la tolva de abono se muestran en la figura 3.48 y por el volumen que abarca, tiene la capacidad para 50 Kg de abono.

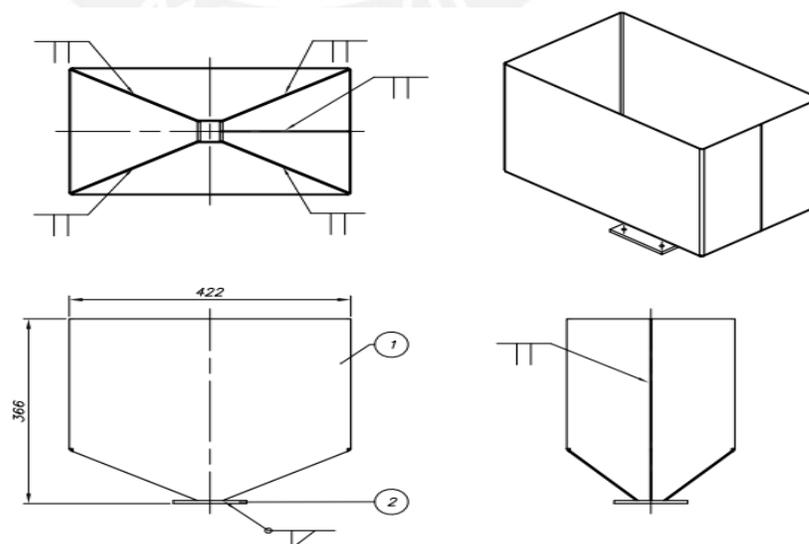


Figura 3.48. Dimensiones principales de la tolva de abono

Las dimensiones principales de la tolva de semillas se muestran en la figura 3.49 y por el volumen que abarca, tiene la capacidad para 1 Kg de semilla.

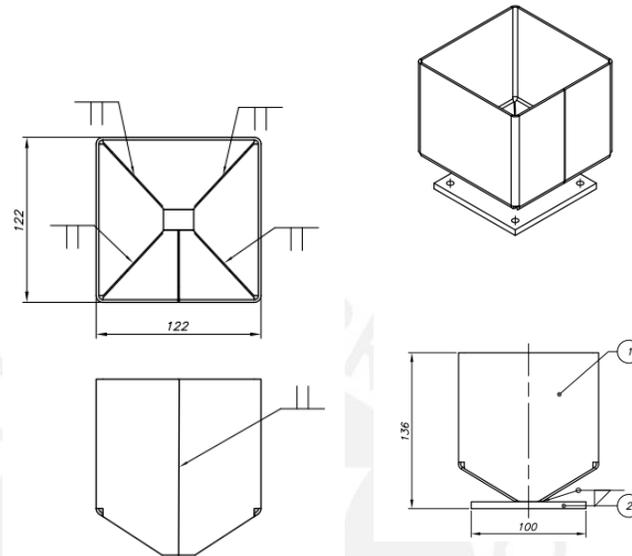


Figura 3.49. Dimensiones principales de la tolva de semillas

3.9. RUEDA MOTRIZ Y COMPACTADORA

Se aprovechará el diseño de la rueda motriz o impulsora como elemento compresor, ya que al comprimir el terreno luego de la siembra se favorece la germinación. Este elemento será fabricado de acero ASTM A-36 y plancha de espesor $\frac{1}{4}$ ".

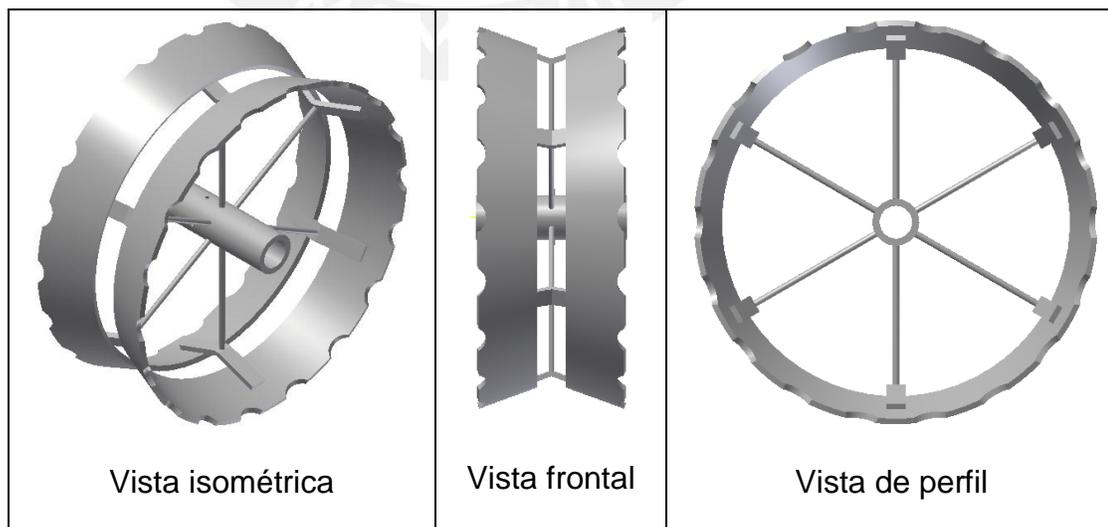


Figura 3.50. Rueda motriz o impulsora.

Esta rueda es la encargada de transmitir la potencia (al girar) mediante cadenas a los sistemas de dosificación. Va unida a un árbol de transmisión mediante una chaveta y dos prisioneros como se muestra en la siguiente figura.

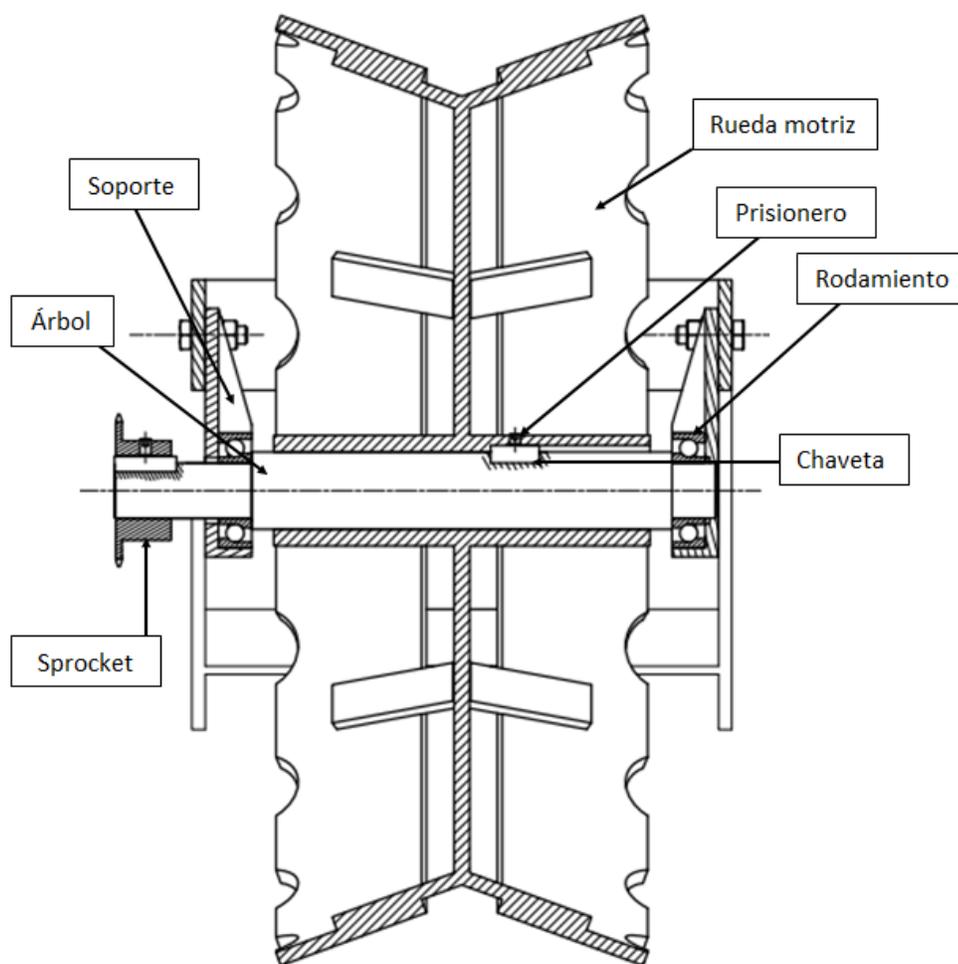


Figura 3.51. Configuración de la rueda motriz

3.10. ESTRUCTURA

La estructura del módulo de siembra está formada por platinas y perfiles estructurales en L de acero ASTM A36 como se observa en la siguiente figura:

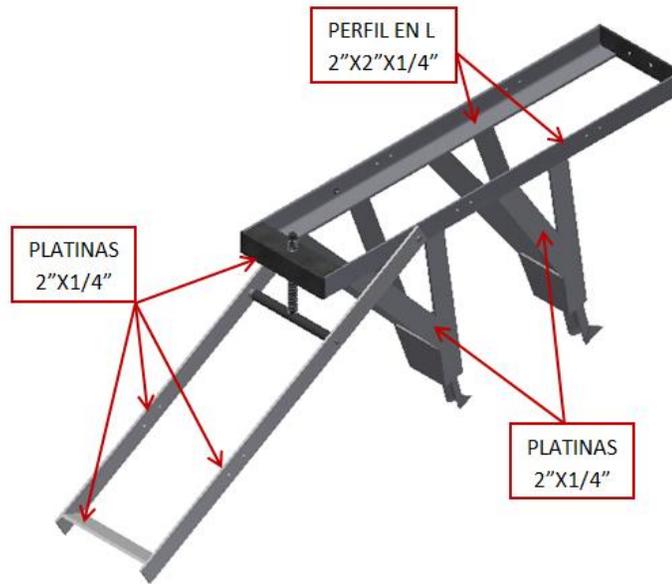
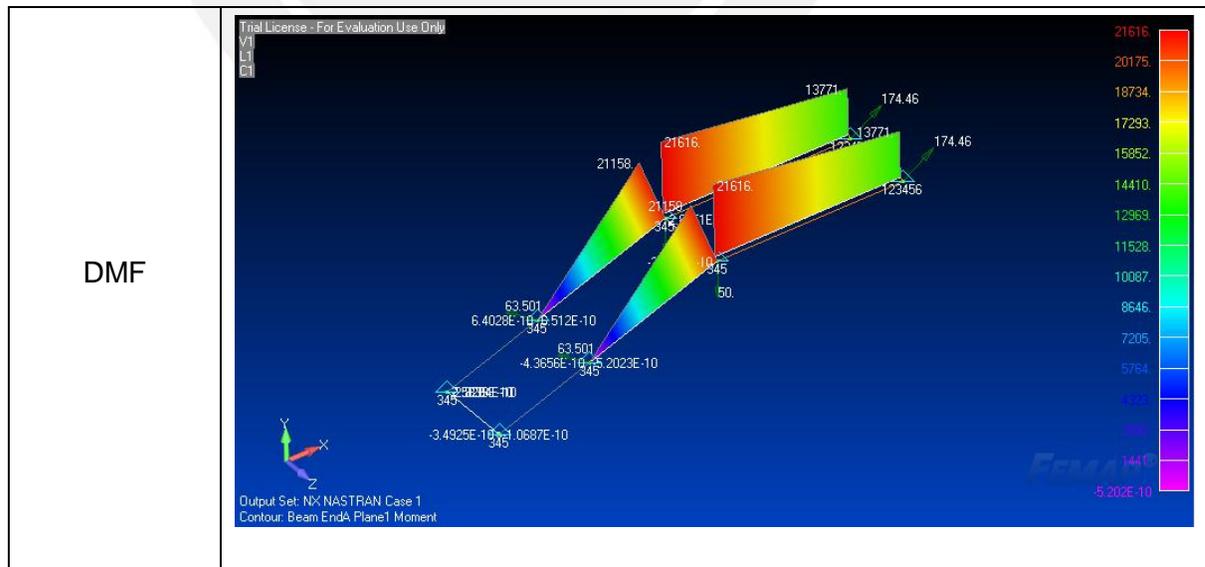
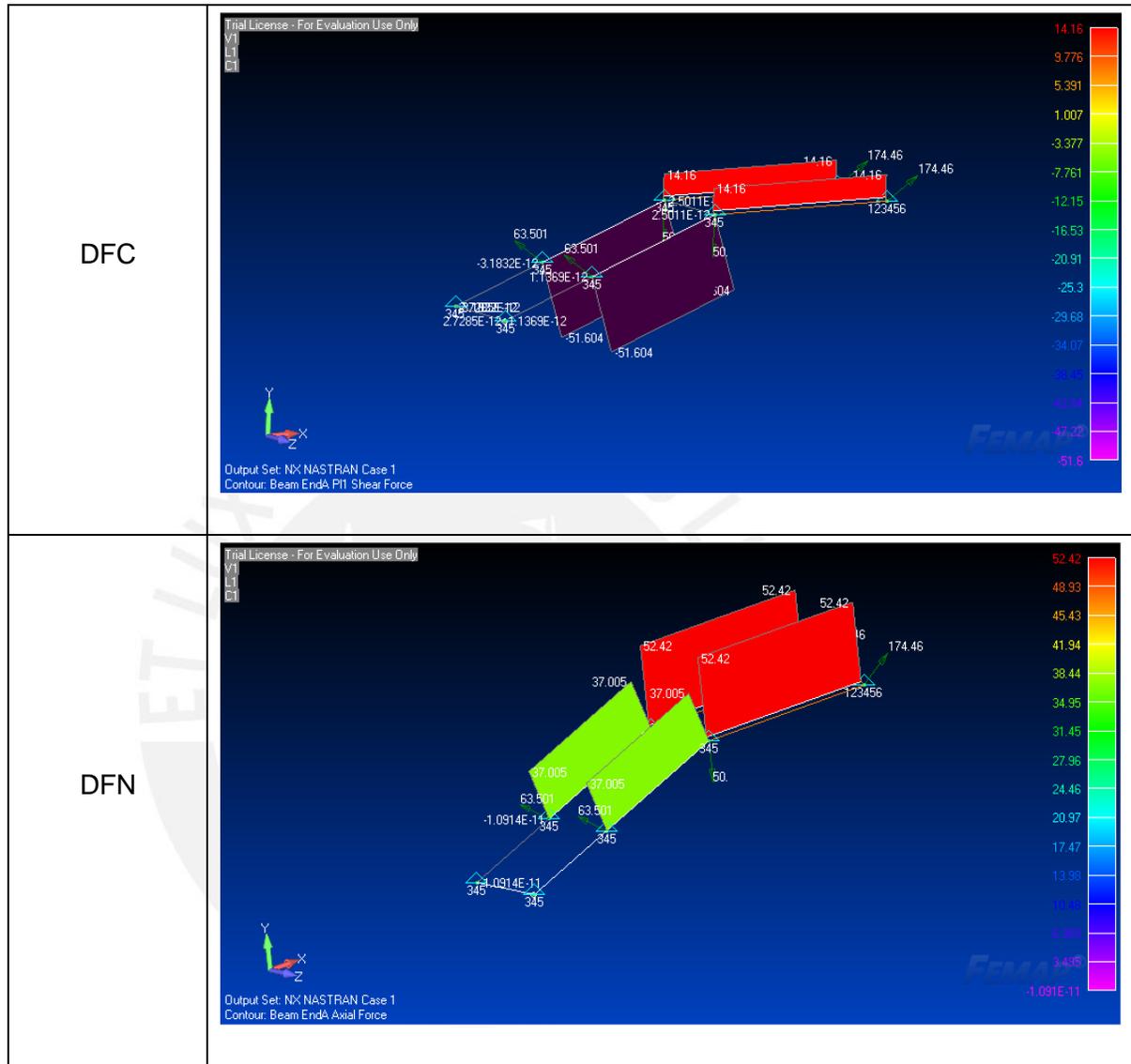


Figura 3.52. Configuración de la estructura

Para la verificación de la estructura se utilizó el software FEMAP. Las condiciones usadas fueron las fuerzas calculadas anteriormente (fuerzas en sección 3.6 y 3.7).

Tabla 3.14. Diagramas de momentos y fuerzas en la estructura





Según el DMF se tiene un momento máximo de 216.2 Nm en el perfil en L que genera un esfuerzo de flexión igual a 58 MPa.

Según el DFC se tiene una fuerza máxima de 142 N en el perfil en L que genera un esfuerzo de corte igual a 63 MPa.

Se halla un esfuerzo equivalente de 123.6 MPa, por lo tanto la viga no falla por fluencia

Según el DFN se tiene una fuerza máxima de 52.4 N en el perfil en L que genera un esfuerzo igual a 45.6 MPa, por lo tanto el perfil no falla por resistencia a la tracción.

3.11. BARRA CUADRADA DE UNIÓN

Este componente de la máquina es la encargada de unir los 3 módulos de siembra con el tripuntal del tractor. Por él pasan las fuerzas de tracción y de levante. Por lo tanto necesita ser calculado, asumiendo el tripuntal como un sólido rígido, se analizará la barra para dos casos: máquina traccionada y máquina levantada.

3.11.1. CASO 1: Máquina traccionada

Para este caso, se utilizará los datos de las fuerzas halladas en la sección 3.7. Según la tabla 3.13 (fuerzas con máquina llena), la mayor fuerza de tracción se realiza en el terreno con inclinación de 30° . Por lo que se verificará la resistencia de la barra en este escenario.

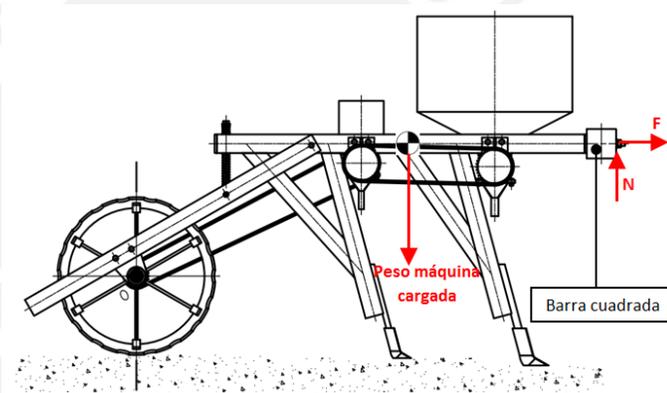


Figura 3.53. Ubicación de la barra en la máquina sembradora y sus fuerzas

Se calculará los esfuerzos y deflexión de la barra para verificar que no falle por fluencia.

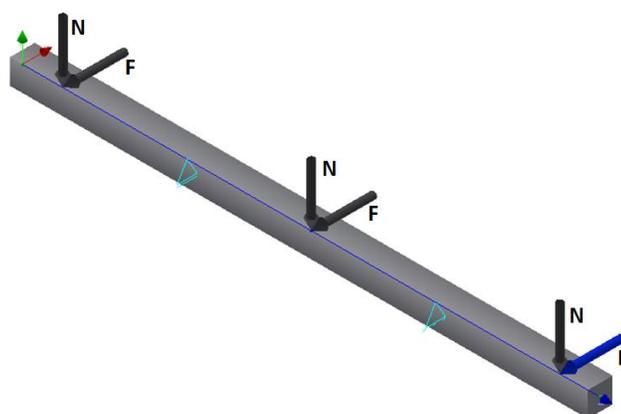


Figura 3.54. DCL de la barra

A continuación, una tabla con los diagramas de esfuerzos y deflexión de la barra:

Tabla 3.15. Diagramas de esfuerzos y deflexión para la barra de unión

<p>Esquema de la barra cuadrada</p>	
<p>Diagrama esfuerzo flector</p>	
<p>Diagrama esfuerzo equivalente de Von Mises</p>	
<p>Deflexión</p>	

El esfuerzo equivalente de Von-Miseses máximo se presenta en la sección donde se ubican los apoyos del tripuntal, (y se parece al esfuerzo flector, ya que no existen esfuerzos de torsión) con un valor de 9,0703 MPa, se tiene un factor de seguridad de 27.5 considerando un esfuerzo de fluencia de 250 MPa para el acero ASTM A-36. Por otro lado, la deflexión máxima es 0,183869 mm y se encuentra en los extremos (en voladizo) de la barra; esto cumple con la recomendación de 0.5 mm/m de deflexión entre apoyos. Se comprueba que la barra no falla durante el funcionamiento de la máquina.

3.11.2. CASO 2: Máquina levantada

En esta sección se estudiará los efectos del peso de la máquina sobre esta barra, cuando se produzca el levantamiento de la sembradora para su desplazamiento “sin sembrar”.

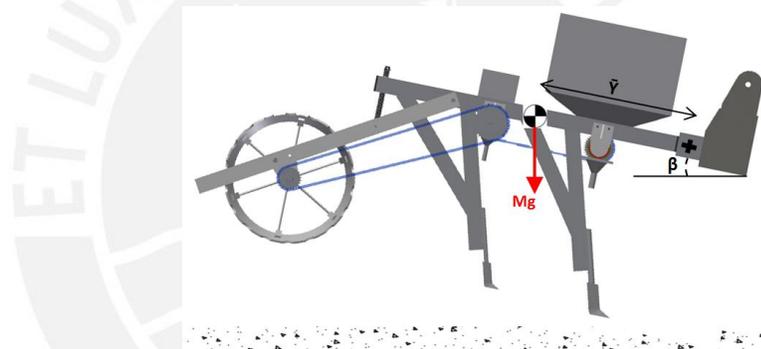


Figura 3.54. DCL módulo en suspensión

Trasladando el peso hacia la barra, se tiene:



Figura 3.55. Peso en barra cuadrada

Se calculará los esfuerzos y deflexión de la barra para verificar que no falle por fluencia.

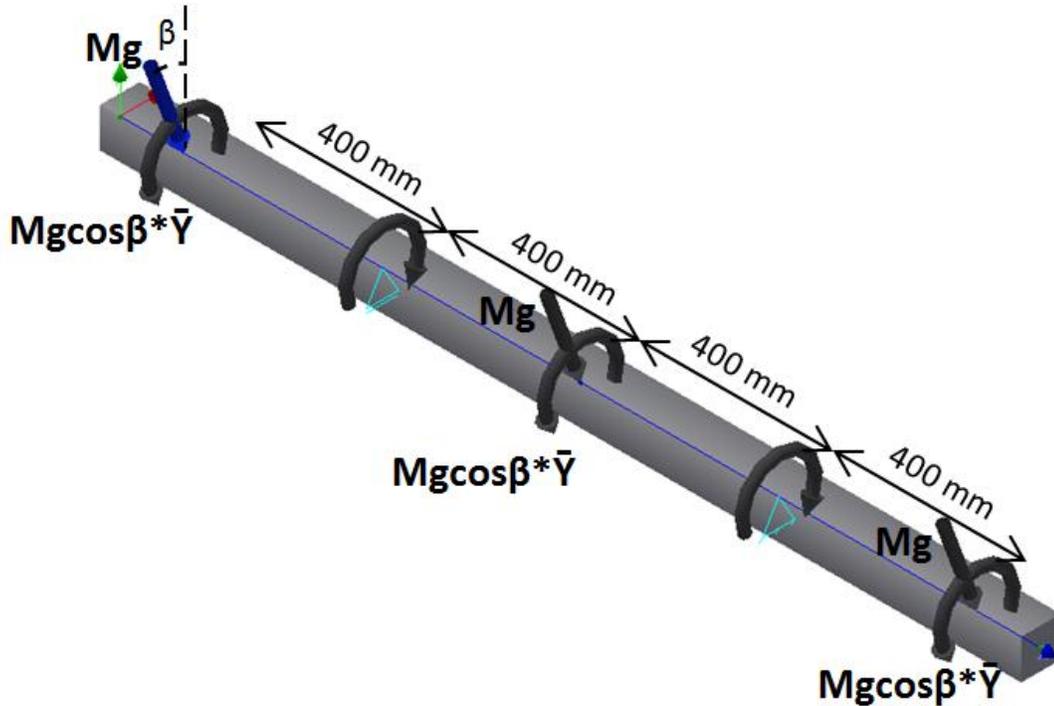


Figura 3.56. DCL de la barra

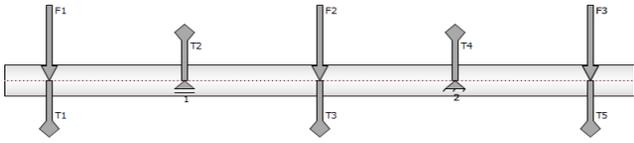
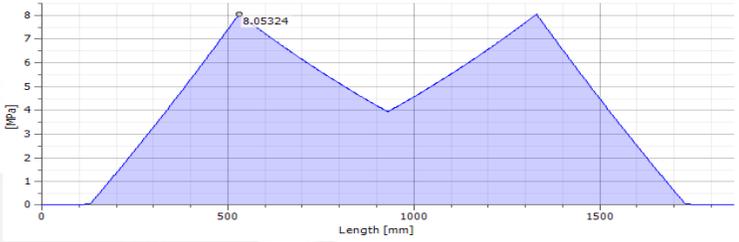
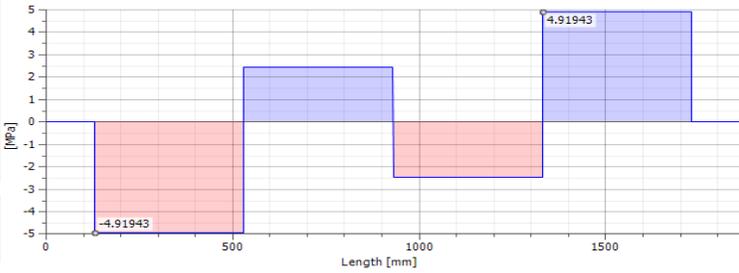
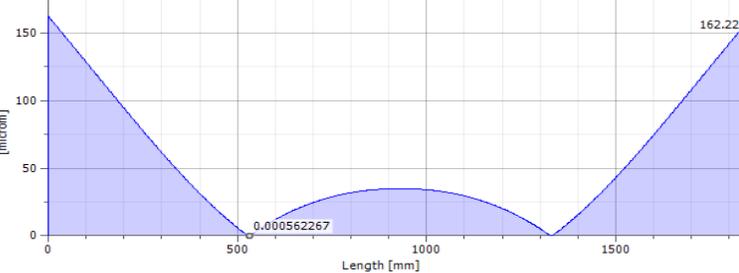
En la siguiente tabla se tienen los datos de entrada para calcular la resistencia de la barra.

Tabla 3.16. Datos del módulo

Masa del módulo (M)	106.17 Kg
Aceleración de la gravedad (g)	9.81 m/s ²
Distancia al centro de gravedad (\bar{Y})	0.503 m
Material	ASTM-A36
Esfuerzo de fluencia	250 MPa

A continuación se presentará una tabla con los gráficos de esfuerzos y deflexión para un ángulo de levantamiento igual a 0° (es decir, cuando empieza el levantamiento).

Tabla 3.17. Diagramas de esfuerzos y deflexión para la barra de unión

<p>Esquema de la barra cuadrada $\beta = 0^\circ$</p>	
<p>Esfuerzo flector</p>	
<p>Esfuerzo torsor</p>	
<p>Esfuerzo equivalente de Von Misses</p>	
<p>Deflexión</p>	

El esfuerzo equivalente de Von-Misses máximo se presenta en la sección donde se ubican los apoyos del tripuntal, ya que existen esfuerzos combinados de flexión y torsión, con un valor de 11,7292 MPa, se tiene un factor de seguridad de 21.3 considerando un esfuerzo de fluencia de 250 MPa para el acero ASTM A-36. Por otro lado, la deflexión máxima es 0,162227 mm y se encuentra en los extremos (en voladizo) de la barra; esto cumple con la recomendación de 0,5 mm/m entre apoyos. A continuación se mostrará una tabla con los valores de esfuerzo equivalente, factor de seguridad y deflexión máxima para diferentes posiciones durante el levantamiento de la sembradora.

Tabla 3.18. Resultados para verificación de barra en diferentes posiciones

	Unidades	$\beta=0^\circ$	$\beta=10^\circ$	$\beta=20^\circ$	$\beta=30^\circ$
$Mg\cos\beta$	N	1041.5	1025.7	978.9	901.9
$Mg\cos\beta*\bar{Y}$	N.m	523.9	515.9	492.4	453.6
σ_{eq}	MPa	11.73	11.62	11.32	10.83
F.S.	-	21.3	21.5	22.1	23.1
Deflexión	mm	0.162222	0.16196	0.16116	0.15986

Se comprueba que la barra no fallará durante el levantamiento de la máquina.

3.12. VERIFICACION DE UNION ATORNILLADA

En esta sección se comprobará la unión atornillada que une el módulo de siembra con la barra cuadrada. Esta unión está sometida a esfuerzos de tipo cortante (normal al eje de los tornillos) y de tracción. Según se muestra en la figura 3.57, se trata de una unión atornillada en la que se utilizan 2 tornillos del tipo TR 12X110 - 8.8.

Tabla 3.19. Datos de los tornillos empleados en la unión

Tipo de tornillo	Diámetro de la caña	Longitud parte roscada	Diámetro del agujero	Área resistente	Límite elástico	Resistencia a tracción
TR12	12 mm	100 mm	13-14 mm	84.3 mm ²	640 MPa	800 MPa

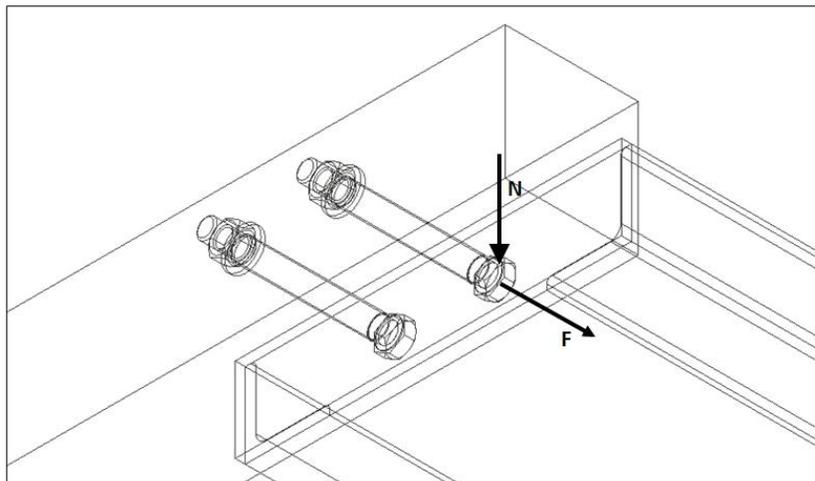


Figura 3.57. Unión atornillada a comprobar

La unión se encuentra sometida a las siguientes fuerzas:

- Fuerza cortante N (normal al eje de los tornillos) = 869.8 N
- Fuerza axial F (paralelo al eje de los tornillos) = 883.5 N

Como se trata de una unión sometida a la acción simultánea de un esfuerzo cortante y axial (de tracción), se calculará con la fórmula 3.50.

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1.4 * F_{t,Rd}} \leq 1 \quad (3.50)$$

Donde:

es la fuerza cortante que actúa sobre la unión atornillada, aquí $F_{v,Ed} = 869.8 \text{ N}$

es la resistencia a cortante de la unión para el tipo de tornillo empleado

es la fuerza axial que actúa sobre la unión atornillada, aquí $F_{t,Ed} = 883.5 \text{ N}$

es la resistencia a tracción de la unión para el tipo de tornillo empleado

a) Cálculo de la resistencia a cortante ($F_{v,Rd}$) de la unión:

$$F_{v,Rd} = \frac{0.6 \times f_{ub} \times A_s \times n}{\gamma_{Mb}} \quad (3.51)$$

Donde:

A_s es el área resistente a tracción de tornillo, que según la tabla 3.19 vale 84.3 mm^2

f_{ub} es la resistencia a tracción del tornillo, que según la tabla 3.19 vale 800 MPa

γ_{Mb} es el coeficiente parcial de seguridad que vale 1.25

n es el número de tornillos, 2

Reemplazando estos valores en la ecuación 3.51:

$$F_{v,Rd} = 64742.4 \text{ N}$$

b) Cálculo de la resistencia a tracción ($F_{t,Rd}$) de la unión:

$$F_{t,Rd} = \frac{0.9 \times f_{ub} \times A_s \times n}{\gamma_{Mb}} \quad (3.52)$$

Reemplazando los valores en la ecuación 3.52:

$$F_{t,Rd} = 97113.6 \text{ N}$$

c) Comprobación final:

Reemplazando los cálculos de las secciones a y b en la ecuación 3.50

$$\frac{869.8}{64742.2} + \frac{883.5}{1.4 \times 97113.6} = 0.02 \leq 1 \quad OK!$$

Por lo tanto se verifica que la unión atornillada **no falla**.

También se comprobó la unión atornillada para el caso cuando la máquina está levantada y se obtuvo un factor de 0.015 que sigue siendo menor a 1. Por lo tanto no falla en este otro escenario.

CAPITULO 4

4. PLANOS Y COSTOS DE FABRICACIÓN

4.1. LISTA DE PLANOS

En la siguiente tabla se nombran los planos de los componentes con sus respectivo código el cual es el siguiente: MSQ-XXX-PXX-AX, donde:

MSQ: Máquina sembradora de quinua

PXX: Número de plano

XXX: Tipo de plano/ Ensamble: ENS; Despiece: DES

AX: Tamaño de hoja

Tabla 4.1. Planos y codificación

CODIGO DE PLANO	DESCRIPCION
MSQ-ENS-P01-A0	MÁQUINA SEMBRADORA DE QUINUA
MSQ-DES-P01-A1	MARCO SUPERIOR
MSQ-DES-P02-A3	MARCO INFERIOR
MSQ-DES-P03-A4	BOCINA 1
MSQ-DES-P04-A4	BOCINA 2
MSQ-DES-P05-A4	BOCINA DE BRONCE
MSQ-DES-P06-A4	BOCINA INTERMEDIA 1
MSQ-DES-P07-A3	DESCARGADOR DE ABONO
MSQ-DES-P08-A3	DESCARGADOR DE SEMILLA
MSQ-DES-P09-A3	EJE DE ABONO
MSQ-DES-P10-A3	EJE ROSCADO
MSQ-DES-P11-A3	EJE DE RUEDA
MSQ-DES-P12-A3	EJE DE SEMILLA
MSQ-DES-P13-A3	RODILLO DENTADO 1

MSQ-DES-P14-A3	RODILLO DENTADO 2
MSQ-DES-P15-A2	RUEDA
MSQ-DES-P16-A3	SOPORTE EJE DE ABONO PASANTE
MSQ-DES-P17-A3	SOPORTE EJE DE ABONO CIEGO
MSQ-DES-P18-A3	SOPORTE EJE SEMILLA
MSQ-DES-P19-A3	SOPORTE DE RUEDA CIEGO
MSQ-DES-P20-A3	SOPORTE DE RUEDA PASANTE
MSQ-DES-P21-A4	SPROCKET MOTRIZ RUEDA P=9.5, Z=25
MSQ-DES-P22-A3	SPROCKET ABONO P=9.5, Z=38
MSQ-DES-P23-A3	SPROCKET SEMILLA P=9.5, Z=38
MSQ-DES-P24-A2	TOLVA ABONO
MSQ-DES-P25-A2	TOLVA SEMILLA
MSQ-DES-P26-A3	UNION T

4.2. ESTIMADO DE COSTOS DE FABRICACION

En este acápite se presentará un aproximado del costo de fabricación de la máquina sembradora. Para calcular el costo total que implica fabricar dicha máquina, se tendrá en cuenta lo siguiente:

- Costo de diseño
- Costos de materiales y elementos seleccionados
- Costo de fabricación
- Costo de ensamblaje

Costo de diseño

Se considera el costo de 8 meses de trabajo en el diseño, cálculo y dimensionamiento de los componentes, elaboración de planos y costos. Además se incluye el costo de asesoría del proyecto.

Tabla 4.2. Costo de diseño de la máquina

	Costo	Tiempo	Total
Asesor	S/. 200.00 / hora	64 horas	S/. 12 800.00
Diseñador	S/. 850.00 / mes	8 meses	S/. 6 800.00
		TOTAL	S/. 19 600.00

Costo de materiales y elementos seleccionados:

A continuación se detallan los costos de los elementos y componentes seleccionados. Los precios se basan en cotizaciones y proformas de distribuidores nacionales.

Tabla 4.3. Costo de materiales y componentes seleccionados

ID	Descripción	Material/Norma	Cant.	Dimensiones generales	P. Unit. (S/.)	P. Total (S/.)
1	Perfil L	ASTM A-36	1	2"x2"x1/4"	65.00	65.00
2	Platina	ASTM A-36	19 m	2"x1/4"	4.00/Kg	180.00
3	Rodamientos rígidos de bolas	SKF	6	6202-2Z	20.00	120.00
4			6	6204-2Z	30.00	180.00
5			6	6205-2Z	40.00	240.00
6	Sprocket	Renold	3	Z=25	30.00	90.00
7			9	Z=38	50.00	450.00
8	Chaveta	DIN 6885	3	6X6X14	10.00	30.00
9			3	8X7X18	12.00	36.00
10			3	10X8X22	14.00	42.00
11	Cadena	Renold	2.7m	Paso 9.525 mm	30.00/m	81.50
12	Tuerca hexagonal	ISO 4032	6	M12	0.30	1.80
13			42	M8	0.20	8.40
14			48	M6	0.20	9.60
15	Tornillo hexagonal	ISO 4017	6	M12X110	1.50	9.00
16			24	M6X20	0.80	19.20
17			24	M6X16	0.80	19.20
18			36	M8X25	1.00	36.00
19	Arandela	ISO 7091	36	M8	0.20	7.20
20			48	M6	0.20	2.40
21			3	M16	0.50	1.50
22			6	M12	0.40	2.40
23	Tornillo prisionero	ISO 4026	12	M5X10	0.80	9.60
24			15	M5X8	0.50	7.50
25			3	M5X5	0.50	1.50
26	Anillos de seguridad	DIN 471	3	25X1.2	2.00	6.00
27			6	20X1.2	2.00	12.00
28			6	15X1.0	2.00	7.00
29	Barra (árbol)	AISI 1045	2.7m	Ø35	6.00/Kg	125.00
30	Barra (bocina)	Bronce 62	24cm	Ø70	37.00/Kg	200.00
31	Barra (rodillo)	AISI 4140	50cm	Ø70	15.00/Kg	226.00
32	Barra perforada	DIN 20 Mn V 6	30cm	Øint20XØext30	15.00/Kg	14.00
33	Resorte	ASTM A-36	2		20.00	40.00
TOTAL					S/. 2 280.00	

Costo de fabricación:

La fabricación de los componentes se realizará en talleres nacionales, en la Tabla 4.3 se detalla el costo de fabricación de cada componente.

Tabla 4.4. Costo de fabricación de componentes

ID	Descripción	Material	Tipo*	Cant.	P. Unit. (S/.)	P. Total (S/.)
1	Rueda motriz	ASTM A-36	TC	3	200.00	600.00
2	Árbol de transmisión	AISI 1045	M	9	150.00	1 350.00
3	Marco inferior	ASTM A-36	M	3	40.00	120.00
4	Marco superior	ASTM A-36	M	3	50.00	150.00
5	Tolva abono	ASTM A-36	TC	3	150.00	450.00
6	Tolva semilla	ASTM A-36	TC	3	70.00	210.00
7	Unión resorte	ASTM A-36	TC	3	80.00	240.00
8	Soportes ciegos y pasantes	ASTM A-36	TC	18	180.00	3 240.00
9	Bocina de bronce	Bronce 62	M	18	30.00	540.00
10	Camiseta	BP280	M	6	100.00	600.00
11	Brida	ASTM A-36	TC	18	70.00	1 260.00
12	Rodillo acanalado	AISI 4140	M	6	250.00	1 500.00
13	Apoyo surcador	ASTM A-36	M	6	50.00	300.00
14	Descarga	ASTM A-36	TC	6	100.00	600.00
TOTAL						S/. 11 160.00

Por lo tanto, el costo total de la máquina se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 4.5. Costo total de fabricación

COSTO DE MANUFACTURA	
Costo de materiales y componentes seleccionados	S/. 2 280.00
Costo de fabricación de componentes	S/. 11 160.00
Costo de montaje	S/. 500.00
SUBTOTAL	S/.13 940.00
Costo de diseño	S/. 19 600.00
COSTO TOTAL DE LA MÁQUINA	S/. 33 540.00

CONCLUSIONES

1. Este diseño de esta máquina sembradora cumple con el objetivo principal de poder ofrecer una máquina simple y sencilla, con una dosificación de abono y semillas eficiente que permite disminuir el porcentaje de pérdidas de grano.
2. Respecto a la fabricación y montaje de la maquina sembradora, es posible que esta sea fabricada y montada en talleres del medio local (Ayacucho) y utilizando la lista de materiales correcta.
3. Los granos de quinua en Ayacucho son considerados como uno de los mejores en el Perú, pero lamentablemente los agricultores de la zona no han mecanizado ninguno de los procesos, por lo que su capacidad de producción es demasiado baja y usualmente no cubren con los pedidos que reciben para exportar dicho producto. Por tanto el presente diseño además de ser una propuesta para la generación de desarrollo de tecnología en el país constituye una fuente de generación de trabajo para aquellas personas que potencialmente puedan dedicarse a la fabricación de este tipo de maquinaria agrícola.
4. Se planteó el uso de un tractor Shangai 504 debido a que en la visita a Ayacucho, este tipo de tracto era el más común. Pero si se llegase a cambiar el tipo de

tractor, habrá que verificar el tipo de enganche de tres puntos que este nuevo tractor posea para que tenga la suficiente fuerza de levante.

5. Las máquinas sembradoras actuales para mediana y pequeña producción no cuentan con una capacidad como la máquina diseñada. Dicha capacidad genera menos pérdida de semilla y abono, esto se verá reflejado en la rentabilidad del proceso de producción de quinua.
6. En el cálculo de la potencia necesaria para el dosificado se observó que dicha potencia es mucho menor a la potencia que puede transmitir el tractor hacia la rueda motriz. Por lo tanto el número de módulos de la máquina podría aumentarse sin ningún problema, e incluso se podría aumentar la capacidad de carga de los módulos verificando la resistencia de los componentes.
7. El costo de fabricación estimado (10 500.00\$) resultará atractivo en función al número de equipos que puedan venderse dado que el costo de ingeniería se podría prorratear entre tanto equipos se vendan. Previamente se deberá de fabricar un prototipo en el cual se corrijan defectos y se midan rendimientos reales del equipo diseñado.
8. Como se sabe de cálculos anteriores que la velocidad de avance de la máquina es de 1,39 m/s con un ancho de avance de 2,4 m. Con estos datos se obtiene una capacidad de siembra, la cual se deduce que una hectárea será sembrada en aproximadamente 1 hora. Este tiempo es aproximadamente un cuarto del jornal de trabajo para los agricultores, los cuales necesitan a un grupo de 4 personas para sembrar una hectárea en un día (4 horas). Con esto se puede concluir que la máquina puede sembrar aproximadamente el triple de rápido a lo que se realiza actualmente.

BIBLIOGRAFIA

- BARRIGA, B. (2006). *Curso: Proyecto Mecánico 1*. Lima.
- CHACCHIA TELLO, K. (s.f.). *Tesis: "Demanda de la quinua a nivel industrial"*. Recuperado el 30 de Octubre de 2013, de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/xmlui/bitstream/handle/123456789/8/AGR%2016-34-TM.pdf?sequence=1>
- CIRNMA. (1997). *Manual del productor de quinua*. Lima.
- HERRANDINA, P. (1993). *Mecanización Agrícola*. Lima: Cooperación Técnica del Gobierno Suizo.
- ITACAB. (1993). *Manual de transferencia de Tecnologías Apropiadas*. Lima.
- MILACHAY, Y. (s.f.). *Cálculo del momento de inercia*. Recuperado el 27 de Mayo de 2015, de <http://es.slideshare.net/kurtmilach/clculo-de-momento-de-inercia>
- MUJICA, A. (1983). *Selección de variedades de Quinua en Chapingo, México*. Chapingo.
- MUJICA, A. (s.f.). *Capítulo II: Agronomía del cultivo de la quinua*. Recuperado el 30 de Octubre de 2013, de <http://www.rlc.fao.org/es/agricultura/produ/cdrom/contenido/libro03/cap2.htm>
- ORGÁNICA, S. (s.f.). *Blog de siembra al voleo*. Recuperado el 30 de Octubre de 2013, de <http://siembraorganicadmf.blogspot.com/p/tipos-de-siembra.html>
- ORTIZ CAÑAVATE, J. (1989). *Técnica de la mecanización agrícola*. Madrid: Mundi-Prensa.
- PERALTA, P. (2012). *Sembradora coreana de quinua*. Recuperado el 05 de Septiembre de 2013, de Página Siete: <http://www.fmbolivia.tv/sebradora-coreana-de-quinua-hace-el-trabajo-de-10-personas/>

PEREYRA, P. (2009). *Manual laboratorio Física 1*. Lima: PUCP.

SHANGAI. (s.f.). *Shangai-504 4WD tractor*. Recuperado el 30 de Octubre de 2013, de <http://spanish.alibaba.com/product-gs/shanghai-504-4wd-tractor-221647693.html>

TAPIA. (1979). *La Quinoa y la Kañiwa*. Bogotá: IICA.

TIMTAA. (s.f.). *Máquinas agrícolas*. Recuperado el 14 de Septiembre de 2013, de http://www.timtaa.com/index.php?option=com_content&view=article&id=26&Itemid=38

UNAD. (s.f.). *Lección 3: Fuentes de potencia del tractor*. Recuperado el 25 de Mayo de 2015, de http://datateca.unad.edu.co/contenidos/356014/Modulo_356014/leccin_3___fuentes_de_potencia_del_tractor.html

UNALM. (2013). *Manual del cultivo de la quinua*. Lima.

UNOCANC. (s.f.). *Producción orgánica de cultivos andinos*. Recuperado el 25 de Septiembre de 2013, de Capítulo 8: Producción orgánica de quinua: http://www.mountainpartnership.org/fileadmin/user_upload/mountain_partnership/docs/1_produccion_organica_de_cultivos_andinos.pdf

YANUQ. (s.f.). *Quinoa en la cocina peruana*. Recuperado el 15 de Septiembre de 2013, de http://www.yanuq.com/Articulos_Publicados/quinua.htm

ANEXOS

