

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA

MECATRONICA

**“DISEÑO DE UNA MÁQUINA ABONADORA PARA
DISTRIBUIR FERTILIZANTE INORGÁNICO EN
TERRENOS DE CULTIVO DE BAJO COSTO”**



TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECATRONICO

ASESOR: ING. FREDDY SOTELO VALER

PRESENTADO POR BACH. JOEL JESUS FIGUEROA VILCARROMERO

LIMA-PERÚ

2014

AGRADECIMIENTOS

Debo Agradecer a Dios y a mis padres; mi madre, la Sra. Elsa Vilcarromero Silva, que siempre me ayudó a mantener la disciplina en mis obligaciones. Mi padre Walter Figueroa Vergel, ya que siempre ha sido mi ejemplo, al haber pasado por muchas adversidades, demostrando que todo el posible para el hombre, y que uno siempre lo consigue cuando se lo propone, a sus consejos y a su manera de motivarme que siempre me ayudo a tomar conciencia de que todo se puede y no hay razón por echarse para atrás y renunciar a lo que uno más desea.

A todos mis amigos y compañeros de la carrera, pude aprender algo bueno de cada uno de ellos con lo que pude lograr ser mejor persona. Siempre recibí apoyo por parte de ellos y de lo cual estoy muy agradecido

Al Ing. Cesar Luyo Rodríguez por haberme formado el gusto por la ingeniería desde etapas escolares, agradeciendo las amanecidas y el tiempo invertido en general en mí y en mi formación académica, a los consejos y regaños que me ayudaron a tomar conciencia de lo que estaba sucediendo conmigo, le estoy muy agradecido.

Al Técnico Especialista Instrumental Arnold Murillo por sus consejos de amigo y ayuda en la parte técnica aplicada en la planta industrial.

Amis familiares en general y amigos cercanos, muchas gracias a todos

Agradezco a mi asesor, el Ing. Freddy Sotelo Valer, gracias por haber sido participe de este proyecto y por habernos transmitido tus grandes conocimientos.

Y por último, a toda la Facultad de Ingeniería de la Universidad Ricardo Palma..

Joel Jesús Figueroa Vilcarromero,

Octubre 2014.

LISTA DE SIMBOLOS

V_t	Volumen total de la tolva
m	Masa del abono
d	Densidad del abono
P	Presión interna [N/m ²]
M	Masa del fertilizante en las tolvas llenas 1000 Kg
$a = g$	Gravedad 9,8 m/s ²
$L = h$	Altura de la tolva 1.5 m
V_{total}	Volumen Total
F	Fuerza que aplica el fertilizante debido a la gravedad
A	Área ocupada por el alimento en m ²
σ_t	Esfuerzo tangencial
σ_l	Esfuerzo longitudinal
h	Altura
p_i	Presión interna
t	Espesor de la placa
Mpa	Mega Pascales
σ_1, σ_2	Esfuerzos principales
σ_e	Esfuerzo equivalente

S_y	Esfuerzo de fluencia del acero laminado galvanizado
n	Factor de seguridad
M	Momento [Nm]
I	Inercia de los elementos del sistema
α	Aceleración angular
L_t	longitud del eje en base al tornillo 0.35 [m]
p	Densidad del acero SAE 4140; 7,85
d	Diámetro para el eje 0.026[m]
P_a	Perímetro ocupado por el fertilizante, (lleno)
D_i	Diámetro interno del cilindro donde está el tornillo sin fin, 0.063
I_p	Momento polar de inercia
$I_{fertilizante}$	Inercia del Alimento
$\rho_{fertilizante}$	Densidad del alimento
L	Longitud del eje 0.7 [m]
M_T	Momento de torsión que realiza el motor al eje [Nm]
M_o	Momento opuesto a causa del recorrido del fertilizante [Nm]
r_i	Radio interno de la caja 0.013[m]
g	Gravedad
n_2	Velocidad angular del tornillo sin fin
λ	Coefficiente de relleno de la sección)
t	Paso del tornillo (m)

n	Velocidad de giro del tornillo
γ	Densidad del material
k	Coefficiente de disminución del flujo de material
Ph	Potencia necesaria para el desplazamiento del material
Pn	Potencia para el accionamiento del tornillo en vacío
Pst	Potencia requerida por la inclinación
RA	Carga sobre el rodamiento A [N]
RB	Carga sobre e rodamiento B [N]
Mt	Momento torsor, [Nm]
T	Tensión transmitida por el motor, [N]
p	Peso del tornillo sin fin y el alimento por unidad de longitud [N/m]
d	Densidad del fertilizante. 768
A_T	Área Transversal del eje del tornillo sin fin 0.079
P_p	Peso del fertilizante
L	Longitud del tornillo sin fin
T	Tensión transmitida al eje
Mt	Momento torsor en el eje
D	Diámetro del piñón conducido 0.051[m]
M_{max}	Momento flector máximo
d_{eje}	Diámetro del eje $\frac{M_T}{M_o}$ 0.0254[m]
C	Distancia al eje neutro. Diámetro/2 = 0.0127[m]

I	Momento de inercia [m ⁴]
Mt	Momento torsor
d_{eje}	Diámetro del eje, 25.4[mm] = 0.025[m]
J	Momento polar de inercia,
S'_n	Resistencia por durabilidad
S_n	Resistencia por durabilidad modificada
C_s	Factor tamaño
C_m	Factor Material
C_{st}	Factor tipo de tensión
Fr	Carga radial mínima
v	Viscosidad del aceite a la temperatura de funcionamiento, mm ² /s
n	Velocidad de giro del motor, rpm
dm	Diámetro medio del rodamiento.
Po	Carga estática equivalente
L10	Vida nominal (con un 90 % de fiabilidad), millones de revoluciones
L10h	Vida nominal (con un 90 % de fiabilidad), horas de funcionamiento
C	Capacidad de carga dinámica, kN
P	Carga dinámica equivalente del rodamiento, kN
n	Velocidad de giro, rpm
p	Exponente de la ecuación de la vida del rodamiento
LC	Longitud de la cadena [pulg]

N1	Número de dientes del piñón conductor
N2	Número de dientes del piñón conducido
P	Paso de la cadena
C	Distancia entre centros 12 [pulg]
TB	Par torsional que ejerce sobre el eje del piñón B

ÍNDICE

CAPITULO I : INTRODUCCION	4
1.1 Definición del problema	4
1.2 Formulación del problema.....	5
1.2 Objetivos.....	5
1.3 Justificación.....	6
1.4 Delimitación	6
CAPITULO II : MARCO TEORICO.....	7
2.1 Antecedentes de la Investigación	7
2.2 Diseño de máquina abonadora.....	8
2.2.1 Análisis del problema	8
2.2.2 Especificaciones y restricciones	9
2.2.3 Diseño conceptual	9
2.2.4 Diseño de configuración.....	9
2.2.5 Diseño de detalle	10
2.2.6 Software utilizado.....	10
2.3 Distribución de Fertilizantes.....	13
2.3.1 Preparación de Tierras	13
2.3.2 Distribución de abono manual.....	15
2.3.3 Distribución de fertilizante con ayuda animal.....	16
2.3.4 Distribución de fertilizante con maquinaria	16
2.3.5 Ventajas y Desventajas de los procesos de distribución de fertilizantes.....	19
2.3.6 Selección del proceso de distribución de fertilizante	21
2.4 Tipos de Fertilizante	21
2.4.1 Clasificación por origen.....	22
2.4.2 Clasificación por composición	23
2.4.3 Clasificación por Característica.....	23
2.4.4 Granulometría.....	24
2.5 Abonadora	25
2.5.1 Clasificación de Abonadoras	27
2.6 Evaluación y Calibración de Abonadoras	33
2.6.1 Conceptos teóricos en el abonado	33
CAPITULO III : DISEÑO DE LA MAQUINA ABONADORA	38
3.1 Generalidades	38

3.2 Características de la Máquina.....	38
3.3 Diseño Mecánico la Máquina Abonadora	39
3.3.1 Tolva.....	39
3.4 Selección del Motor.....	45
3.4.2 Inercia del Eje.....	46
3.5 Diseño del Tornillo Sin Fin	50
3.5.1 Diseño del Eje de Transmisión (Figura 3.5).....	55
3.6 Selección del Rodamiento	62
3.7 Calculo de Piñones y Cadena	66
3.8 Fuerzas Producidas por la Catalina	69
3.9 Electrodo Usados	70
3.9.1 Electrodo 6011.....	70
3.9.2 Electrodo UTP 65	70
3.10 Elementos y Herramientas para la Construcción de la Máquina.....	71
3.10.1 Materiales	71
3.10.2 Herramientas.....	72
3.10.3 Elementos de Seguridad	73
3.11 Diseño Preliminar.....	73
3.12 Vista isométrica de la Máquina	74
3.13 Proceso de Abonado	74
3.13.1 Abonado de tierras.....	74
3.14 Ingeniería de Control.....	74
3.15 Diagrama de bloques del Sistema.....	75
3.16 Descripción del Software Utilizado.....	76
3.17 Descripción de los Elementos Utilizados	77
3.17.1 PLC.....	77
3.17.2 Cable Ethernet	79
3.17.3 Motor Eléctrico.....	80
3.17.4 Fuente de Poder/Cargador Enforcer ST-2406-5A	81
3.17.5 Batería 12V 7AH.....	82
3.17.6 Pulsador ON/OFF	83
3.17.7 HMI SIEMENS KTP1200.....	83
3.17.9 Compresora.....	84
3.17.10 Cilindro de Cartucho EGZ (Figura 3.32)	85

3.17.11 Sensor de Velocidad SITRANS WS300	86
3.18 Programación del PLC	86
3.19 Proceso para crear un programa	87
3.20 Diagrama de Flujo del sistema de control	87
3.21 Diseño del Programa	88
3.21.1 Inicio.....	88
3.22.2 Encendido del Motor	89
3.22.3 Contabilizar el Tiempo de las Válvulas.....	90
3.22.4 Finalización del Abonado.....	90
3.23 Visualización del Diseño del Sistema	91
3.24 Diagrama de conexión del Sistema	91
3.24.1 Diagrama de conexión del Sistema de Control	92
CAPITULO 4	94
4.1 Resultados.....	94
4.2 Colocación de Fertilizante en las Tolvas.....	94
4.3 Fabricación de la Máquina Abonadora.....	94
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	100
BIBLIOGRAFIA	102
ANEXOS	103
ANEXO 1	103
ANEXO 1-1: Maquina Abonadora.....	104
ANEXO 1-2: Estructura Mecánica de la Tolva	105
ANEXO 1-3: Dimensiones de estructura Central.....	106
ANEXO 1-4: Dimensiones de Aradora y Acequiadora.....	107
ANEXO 1-5: Tornillo sin fin.....	108
ANEXO 1-6 Esquema Mecánico general del diseño	109
ANEXO 2	111
ANEXO 2	113
ANEXO 3	115
.....	115
ANEXO 4	118
ANEXO 5	122

CAPITULO I : INTRODUCCION

El presente trabajo, busca mejorar el proceso de abonado en los terrenos para sembrío de caña de azúcar, para tal fin se desarrolla el diseño de un prototipo de máquina abonadora, la misma que entre otras cosas; generara un ahorro económico significativo y mejora en la calidad de abonado.

La tesis se ha desarrollado en cuatro capítulos, un anexo y las referencias bibliográficas.

En el Capítulo I, se realiza la definición del problema, formulación del problema, objetivos, justificación y delimitación.

En el Capítulo II, se expone el estado del arte de las maquinas abonadoras. Se mencionan los aspectos más relevantes de la evolución de las abonadoras. También se exponen algunos procedimientos de construcción.

En el Capítulo III, se plantea el diseño mecánico, electrónico de la maquina abonadora. Especificando el diseño matemático de las piezas fundamentales de las máquina. También se muestra el diseño electrónico y eléctrico de la máquina.

En el Capítulo 4, se expone los resultados obtenidos en el presente trabajo.

1.1 Definición del problema

En el campo agrícola es de suma importancia la preparación de los terrenos, ya que esta es fundamental para los próximos trabajos de siembra, siempre teniendo en cuenta que la tierra sea virgen o que se requiera remover los residuos de una antigua cosecha.

Normalmente en la agricultura nacional, los pequeños y medianos empresarios agricultores no son capaces de adquirir maquinaria agrícola para la mejora de sus trabajos. Fundamentalmente esto se debe a los costos que se necesita para su adquisición y la poca llegada que estos tienen a sus alejados pueblos. Los empresarios agrícolas normalmente deben acceder a trabajos manuales y/o animales, lo que causa que contraten a un número indeterminado de personas que serán los responsables de realizar los trabajos de preparación de los terrenos antes de la siembra. Por otro lado, existen empresarios que alquilan maquinaria para trabajos previos (arado, rastra, etc.), esto ocasiona pérdidas de tiempo, y

que sea probable que el cliente que brinde el servicio no lo haga de la manera que uno lo desee. Esto ocasiona perdida de dinero, tiempo y molestias innecesarias.

El uso de diversas maquinarias implica perdidas de diversa índole. Por otro lado, existe un problema también en el uso de los fertilizantes inorgánicos que al no ser utilizados de la mejor manera pueden causar problemas en el producto final y posteriormente en todo lo relacionado al mercado.

1.2 Formulación del problema

Conforme a la problemática enunciada se plantea dar solución a los siguientes problemas de investigación:

¿Por qué diseñar una maquina abonadora para fertilizante inorgánico?

¿Qué herramientas necesarias de dosificación y trabajo debe llevar una máquina abonadora?

¿Qué relación tienen los procesos de fertilización sea para abono inorgánico y orgánico existen para los diferentes tipos de siembra?

¿Cómo desarrollar el diseño de la maquina abonadora para fertilizante inorgánico?

1.2 Objetivos

Objetivo general:

Diseñar un prototipo de máquina abonadora para distribuir abono inorgánico.

Objetivos Específicos:

Seleccionar y analizar el tipo de dosificador a ser utilizado en la máquina abonadora.

Investigar los procesos de dosificación de abono inorgánico y orgánico sólido y sus aplicaciones para los diferentes tipos de siembra.

Desarrollar los procesos más adecuados para la construcción de la máquina y encontrar los correctos materiales.

1.3 Justificación

En el mundo existen maquinas abonadora de fabricación extranjera con capacidades superiores y/o similares al prototipo propuesto con costos mucho más elevados que pueden llegar a alcanzar los 80.000 USD (ochenta mil dólares americanos), el costo puede variar dependiendo de la marca y la capacidad. De esta forma se justifica el diseño de una maquina abonadora arrastrada por un costo mucho menor al antes mencionado.

Con una maquina abonadora diseñada con productos que se encuentren en el mercado nacional pues habrá beneficios en lo laboral, ya sea por los profesionales que estén involucrados para su desarrollo o ya sea en lo educativo, ya que el empresario agricultor aprenderá sobre el diseño de maquinaria agrícola que le permitirá supervisar con mucho mejor calidad los trabajos en sus terrenos, además, que puede enseñar a sus trabajadores.

Los fertilizantes orgánicos son muy recomendados para todo tipo de siembra en la agricultura, pero para un nivel competitivo de mercado, la preparación de estos toman tiempo o difícil de adquirirlos, entonces es necesario una correcta elección y utilización de los fertilizantes inorgánicos para poder salvaguardar la integridad de los suelos.

Por ello, la importancia de esta tesis radica en mejorar la calidad del trabajo de fertilización de los terrenos diseñando una maquina abonadora para fertilizante inorgánico.

1.4 Delimitación

El presente trabajo se centra en el diseño de una maquina abonadora para fertilizante inorgánico para caña de azúcar, por las condiciones favorables que la caña de azúcar ofrece (consumo, fácil acceso, comercio), y por otros más relevantes como su fácil siembra, cosecha y su procesado.

Esta trabajo tendrá impactos a corto, mediano y largo plazo. A corto plazo mejora de los tratamientos de los terrenos, a mediano plazo mejoras en lo económico y la capacitación de todos en la empresa beneficiándose para su desarrollo profesional y social, a largo plazo 10 años en adelante buscar crear futuros aporte y cimentar el camino hacia nuevos proyectos investigativos como este que fue ejecutado en un plazo de 6 meses a un enfoque de 10 años. Por último se exponen procedimientos de construcción para el desarrollo de la tesis.

CAPITULO II : MARCO TEORICO

2.1 Antecedentes de la Investigación

Se ha realizado varias investigaciones respecto a los tipos de máquinas abonadoras en donde se han establecido diversos conceptos para cada tipo y de una metodología de funcionamiento en esa línea están las investigaciones de:

Carlos Fernando Andrade Icaza, Byron Esteban Tamayo Pazos (2012). Diseño y Construcción de una máquina para distribuir abono orgánico sólido sobre terrenos de cultivo con capacidad de 1,4 toneladas dirigido a rio chico ubicada en el cantón pápate de la provincia de Tungurahua, en donde se indica que: La máquina abonadora elegida consiste en una serie de mecanismos de reducción de velocidad, los cuales van a accionar diferente sistemas de propulsión comenzando por la banda transportadora que es la encargada de mover el abono hacia una compuerta de escape la cual posee un sistema de dosificación, luego el abono cae sobre unos discos giratorios con aletas donde se distribuiría el abono en una forma uniforme sobre un área determinada del terreno.

Jaime Serrato Duarte, Eduardo del Ángel González (2013). Estudio Experimental de un prototipo de diseminación de medios granulares, en donde se indica que: La uniformidad de la distribución del material, está estrechamente relacionada con la inyección del material granular o fertilizante, cuando la altura de inyección es mayor produce que las velocidades con la que sale y con que se comporta en la superficie del disco de la abonadora sean radiales, dado a que el flujo másico no es constante, provocando que exista una menor uniformidad en la distribución, y si la altura de inyección es menor y el flujo másico es uniforme, produce que las velocidades del material granular o fertilizante sean tangenciales sobre la superficie del disco y a la salida del disco, generando una mayor uniformidad en la distribución del material con buena velocidad angular.

Miles Grafton, Ian Yule, Bryan Rendle. A review of technologies for improved fertiliser application accuracy, en donde se indica que: las fuentes de error debido a la conducción inexacta, provocando un mal posicionamiento del vehículo, se inicia inexactas colocar reposicionamiento de vehículos y paradas, y la incapacidad de controlar fluir con la uniformemente con otro tipo de abonadoras. Su mayor inconveniente es que su anchura de

trabajo está muy limitada. Velocidad del vehículo y variables que han sido identificados como contribuyentes a error "en el campo". Como resultado de un error del piloto se identificó como un factor significativo que contribuye, muchos operadores han instalado asistencia orientación GPS a sus vehículos para mejorar la precisión. A menos que corrección diferencial se utiliza para mejorar el posicionamiento dentro de 0,2 m, entonces puede haber pocos beneficios de GPS como los errores de posicionamiento potenciales (± 8 m) son más o menos igual a la norma desviación en el patrón de propagación. El modelo desarrollado para medir la CV en el campo, por tanto, no es aplicable, ya que requiere una medición precisa de la aplicación realiza un seguimiento a fin de que los patrones de propagación se puede combinar con precisión para modelar espacialmente la dosis de aplicación.

2.2 Diseño de máquina abonadora

2.2.1 Análisis del problema

El proceso empieza con un planteamiento inicial de la necesidad, y la primera actividad de diseño es el análisis del problema. Según se muestra en la figura 2.1:

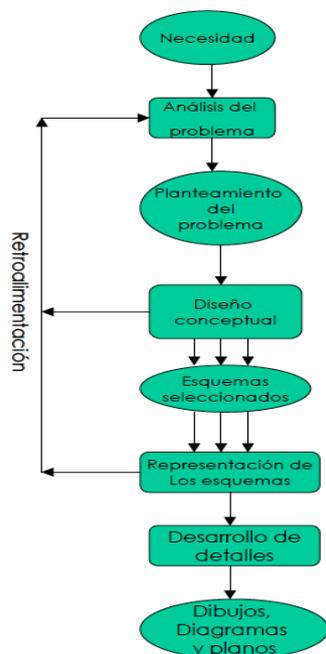


Figura 2.1 Análisis del problema

Este método, sugiere que:

El análisis del problema, es una parte pequeña pero importante del proceso global. El resultado es un planteamiento del problema, y este puede tener tres elementos:

Un planteamiento del propio problema de diseño.

Las limitaciones que se imponen a la solución, por ejemplo: Normas, requisitos previos, requerimientos del cliente, tiempo disponible para el proyecto, tiempo de fabricación y entrega del producto, etc.

El criterio de excelencia hacia el que se va a trabajar.

2.2.2 Especificaciones y restricciones

Una vez que entendemos el fundamento, y el objetivo o la meta han quedado completamente claros, se está listo para formular un listado de especificaciones y restricciones de funcionamiento de la máquina.

Las especificaciones y restricciones, deben decir que es lo que el sistema o maquina debe de hacer. Más adelante se darán las especificaciones de diseño que son las que nos indican como se deben hacer. En esta etapa del proceso de diseño, no es prudente intentar la determinación de cómo hacerlo, pues el propósito en esta parte del diseño, es definir y restringir cuidadosamente el problema, de modo que se pueda resolver y mostrar que se ha resuelto, después de tal hecho. En resumen, estas especificaciones y restricciones sirven para definir el problema en la forma más general y completa posible.¹

2.2.3 Diseño conceptual

En esta fase se toma el planteamiento del problema y se generan soluciones amplias, de manera explícita. Es la etapa del diseño que impone mayores demandas al diseñador y donde existe el mayor campo para la propuesta de mejoras. Es la fase donde se necesitara mayor conocimiento en todo aspecto.

2.2.4 Diseño de configuración

En esta fase los esquemas se trabajan con mayor detalle y, si existe más de uno, se hace una elección final de entre ellos. El producto final es generalmente un conjunto de dibujos del arreglo general. Existe una gran retroalimentación de esta fase y la del diseño conceptual

¹ Robert L. Norton. Diseño de Maquinaria 2da edición

2.2.5 Diseño de detalle

Esta es la última fase, en la cual se toman las decisiones de un gran número de pequeños puntos, pero esenciales. Las decisiones, así como la calidad del trabajo en esta fase deberán ser muy buenas, pues de lo contrario se incurre en retrasos y gastos innecesarios e incluso el fracaso del diseño completo de la máquina. Es conveniente que en esta fase nos auxiliemos de diferente software para darle seguimiento puntal a cada una de las acciones correspondientes del proceso para reducir la posibilidad de errores.²

2.2.6 Software utilizado

2.2.6.1 Autodesk Inventor

Autodesk Inventor es un programa de computación tipo CAD (Diseño Asistido por Computadora) utilizado en la industria para el diseño mecánico. Se basa en el diseño paramétrico y permite realizar modelos de pieza y mecanismos en 2D y 3D, simular movimiento dibujar planos con gran facilidad.

Herramientas

Entre las herramientas más importantes del programa para el desarrollo de este diseño se deben mencionar:

Dibujo paramétrico en 2D: se realizan bosquejos de las piezas y luego se asignan dimensiones y restricciones que pueden cambiarse en cualquier momento permitiendo la evolución del diseño.

Modelado en 3D: por medio de una serie de comandos que incluyen extrusión, revolución, etc., los bosquejos en 2D se transforman en piezas tridimensionales.

Ensamble de piezas: se combinan distintas piezas en un solo entorno y luego de asignarles restricciones de movimiento relativo entre sí, se da lugar a un mecanismo simulado virtualmente.

² Robert L. Norton. Diseño de Maquinaria 2da edición

Análisis de esfuerzos: aplicando vectores de fuerza a diferentes partes del mecanismo y piezas, el programa realiza un análisis de elemento finito y muestra los esfuerzos totales en diferentes regiones. Útil sobretodo en piezas de geometría compleja.

Creación de planos adaptativos: se realizan dibujos mecánicos a partir de las piezas modeladas en tres dimensiones. Los planos se actualizan automáticamente a medida que el diseño del modelo cambia.

Ventajas

El diseño asistido por computadora ofrece muchas ventajas que a la larga permiten reducir tiempo y costos. Algunas de ellas son:

Crear piezas con geometría adaptativa que cambian con el tiempo con sólo variar ciertas dimensiones o parámetros.

Simular mecanismos que permiten observar las diferentes posiciones del mismo y evaluar que no existan interferencias entre piezas.

Realizar análisis de esfuerzos a piezas de geometrías complejas de manera casi instantánea. Esto permite encontrar fallas en el diseño con gran facilidad y resolverlos cambiando sus dimensiones o materiales.

Reducir el tiempo de elaborar diferentes propuestas de diseño.

Hacer planos muy rápidamente y con precisión de acuerdo a las normas del dibujo mecánico. Ante cualquier modificación se adaptan automáticamente. La escala de los dibujos se puede cambiar a voluntad.

2.2.6.2 Solidworks

SolidWorks es una herramienta para acelerar y mejorar el diseño y desarrollo de productos a través del modelado en 3D.

Las herramientas que provee solidworks ayudan desde el modelado en 3D, la validación (simulación o análisis CAE), así como administración de datos de los producto o datos de ingeniería, y la documentación de productos (creación d manuales, instructivos, guías, etc.)

El software de diseño SolidWorks 3D ayuda a diseñar mejores productos con mayor rapidez.

SolidWorks provee de herramientas que ayudan a innovar y diseñar en menos tiempo y a un

menor costo. SolidWorks Premium, es la herramienta de diseño que en un solo producto provee herramientas para:

Modelar productos de plástico, lamina, estructurales, moldes, componentes mecánicos, tuberías, cableados, etc.

Con SolidWorks Simulation, podrá validar (realizar análisis d elemento finito) cualquier producto con distintos tipos de restricciones, contactos y condiciones que generan resultados tales como esfuerzos, deformaciones o tensiones, factores de seguridad etc.

Simular el funcionamiento y accionamientos mecánicos obteniendo velocidades, aceleraciones, torques, potencias etc. Incluso el alcance de SolidWorks Motion, permite realizar simulaciones cinemáticas reales.

Administración de datos, para llevar un control personal de los documentos, revisiones, y modificaciones, las herramientas incluidas en SolidWorks Premium ayudan a evitar errores o confusiones por falta de registro y control de sus documentos.

2.2.6.3 MDSolid

MDSolids es una aplicación profesional orientado a los profesores y estudiantes interesados en la mecánica de los materiales del curso.

Con el fin de hacer que la enseñanza y el estudio de una actividad placentera, el software proporciona rutinas interactivas e imágenes únicas. Los ingenieros también pueden hacer un buen gusto de ella.

Con este programa se puede analizar cualquier tipo de estructura isostática en barras como lo son trabes (vigas), armaduras, elementos sometidos a esfuerzos de torsión, flexión o esfuerzos cortantes.

También se puede determinar las propiedades geométricas de las secciones o perfiles más comunes como lo son el momento de inercia, rádio de giro, centroide, etc.

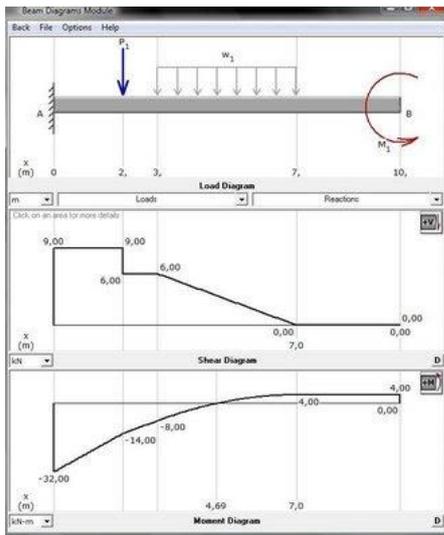


Figura 2.2 Mdsolid

2.3 Distribución de Fertilizantes

El estado físico en que se presenta un abono, que puede ser sólido, líquido y gaseoso. Juega un papel importante en las condiciones de utilización y la eficacia del abono, ya que tanto la homogeneidad de la distribución como su integración más o menos completa en el suelo, van a depender de dicha presentación.

2.3.1 Preparación de Tierras

En zonas de producción se requiere de una buena preparación del terreno, en muchos casos, dependiendo de la envergadura del terreno se requiere de maquinaria agrícola para la realización del roturado, rastreado y nivelado con la finalidad de asegurar una buena cama de adaptación para la semilla. El uso de la maquinaria también tiene la importante finalidad de habilitar terrenos marginales al erradicar malezas tóxicas para el ganado como la bacteria *kellu kellu* (himenoxis robusta), antes de que empiece a germinar las semillas.

Para esto podemos decir que la tierra es el asiento esencial de la agricultura, por lo que su acondicionamiento y conservación son vitales para una producción agrícola exitosa. Desde hace miles de años, con el descubrimiento del arado, el hombre “prepara la tierra”, es decir, la remueve y voltea a través de una operación que requiere de tracción (animal o mecánica), y luego la desmenuza con la ayuda de la rastra. La preparación de tierras es un componente esencial en el proceso de establecimiento y desarrollo de los cultivos, y al mismo tiempo es parte vital en el manejo integrado de plagas y enfermedades. (Figura 2.3).



Figura 2.3 Preparación de Tierras

Sus principales objetivos son:

Preparar un lecho para que la semilla pueda germinar

Distribuir de manera correcta el terreno en un numero correcto de surcos

Cada surco debe tener una separación adecuada uno del otro para que las raíces al momento de crecer la planta pueda explorar mayor volumen de suelo en busca de agua y nutrimentos.

Reducir la incidencia de plagas y enfermedades con diversos métodos (químicos naturales)

Acondicionar el suelo para impedir el encrostramiento esto quiere decir que se debe favorecer una buena humedad del terreno con agua.

Con una buena preparación se consigue la destrucción de las malezas, normalmente hospederas de plagas y enfermedades, y se destruyen muchos insectos plaga, en algunos casos al enterrar profundamente larvas, pupas y huevos, impidiendo la culminación de su ciclo biológico vida. En otros las pupas y larvas son traídas a la superficie y expuestas a la acción directa del sol o de los depredadores (pájaros).

Cada cultivo y cada condición de suelo (y clima) determinan una preparación más o menos profunda o un desmenuzamiento más fino de los terrones del suelo. Lo importante es mejorar la condición física del suelo, su aireación y su facilidad para el movimiento del agua.

En ciertas condiciones, los suelos tienden a formar lo que se llama *piso de rastra*, consistente de la formación de una capa impermeable que evita la circulación del agua de lluvia o riego y el movimiento de las raíces de las plantas sembradas.

Cuando la preparación es inadecuada y, por ejemplo, no verificamos si efectivamente se logró romper el piso de rastra, la acción de los herbicidas no es efectiva, se reduce la

disponibilidad de nutrimentos, la emergencia de las plántulas es irregular, la penetración radical es limitada, el terreno se enmaleza rápidamente y la aparición de las plagas y enfermedades es más temprana. En otras palabras, se inicia un ciclo de cultivo problemático, con un crecimiento desinforme, fallas en la densidad de siembra planificada, plantas poco vigorosas, propensas a las enfermedades y plagas, todo lo cual provocará mayores problemas a lo largo del ciclo y, por ende, un rendimiento mucho menor que el esperado.

Al planificar la preparación de tierras, se debe asegurar de lograr:

Destruir y enterrar la soca del cultivo anterior.

Hacerla escalonada en el tiempo, para destruir efectivamente las malezas. cerciorarse de la existencia de un piso de rastra y destruirlo.

Realizar la labor cuando la tierra tenga un contenido de humedad adecuado, de manera que el suelo quede mullido, suelto, poroso, con terrones pequeños, de forma de minimizar la erosión eólica.

Realizar la labor en horas de la mañana o al atardecer, para reducir el arrastre por efectos del viento.

Es importante señalar que la preparación puede hacerse con tracción animal o mecánica. En Los Andes, es común la yunta de bueyes para preparar las tierras, debido a lo inclinado de los terrenos o parcelas, mientras que en el Guárico la preparación de las tierras que se van a sembrar con arroz consiste en un batido del terreno previamente inundado.

2.3.2 Distribución de abono manual

En los tiempos pasados hasta la actualidad, los agricultores han fertilizado los suelos por medio de su propia mano, movilizand o pequeñas cantidades de abono por medio de sacos en su espalda o bien por mecanismos tipo carretillas para poder así cubrir el área de sembrado. (Figura 2.4)



Figura 2.4 Abonado Manual

2.3.3 Distribución de fertilizante con ayuda animal

En este proceso interviene ciertos animales utilizados para el arrastre de una carreta con mediana capacidad de abono, aquí se utilizaban dos operarios el primero tenía la función de guiar a los animales por la dirección correcta y el segundo tenía la función de esparcir el abono con herramientas simples como trinchas azadones o palas. (Figura 2.5)



Figura 2.5 Abonado con ayuda animal

2.3.4 Distribución de fertilizante con maquinaria

En la actualidad la utilización de maquinaria para la agricultura es muy utilizada alrededor del mundo gracias a las ventajas que estas tienen, pero a su vez son un tanto costosas.



Figura 2.6 Abonado con maquinaria

En una abonadora tanto de abono orgánico como abono mineral o inorgánico los órganos principales que definen esta máquina son:

2.3.4.1 La caja de carga

La caja de carga es la de un remolque normal, con el fondo metálico o de madera y con laterales plegables hacia el exterior, de forma que se facilita la carga y descarga de materiales, cuando el repartidor es utilizado como remolque. Conviene señalar que la cantidad de abono transportado depende de la carga soportada por el eje, y de la altura de los molinetes de reparto medida desde el fondo de la caja, que, evidentemente, es más elevada para los molinetes verticales que para los horizontales.

A continuación se describirá las diferencias entre el sistema de alimentación y el sistema de distribución³

2.3.4.2 El sistema de alimentación

El sistema de alimentación tiene la misión de llevar el abono al sistema de distribución de forma regular. Están constituidos por barras metálicas unidas a dos cadenas paralelas, que las arrastran por el fondo de remolque. Las cadenas casi siempre se desplazan encastradas en ranuras practicadas en el fondo del remolque o a su vez bandas transportadoras de varias lonas anticorrosivas movidas por rodillos motrices. El sistema de alimentación, que puede ser tipo de transportador continuo y de barras equidistantes, puede ser accionado por las propias ruedas del remolque, por la toma de fuerza del tractor y por transmisión hidráulica, si bien el accionamiento por las ruedas del remolque solo es utilizado por los distribuidores de poca capacidad.

³ DORGMAN, DONALD, E. Tractors, Editions Moline III / Deere, 1981

El accionamiento por la toma de fuerza, si esta es sincronizada, es decir, que velocidad de giro es proporcional a la velocidad de avance del tractor, la dosis aportada es independiente de la velocidad de marcha de la máquina, y para modificarla solo es preciso actuar sobre la palanca de regulación del remolque distribuidor, en cambio, si la toma de fuerza es independiente como el régimen de rotación es proporcional a la velocidad angular del motor y no a la velocidad de marcha, para obtener una dosis determinada de abono es necesario actuar simultáneamente sobre la actividad de avance del tractor, sobre el régimen del motor y sobre la regulación de la propia máquina.

El accionamiento hidráulico aunque es más caro, permite una regulación cómoda y fácil de la dosis de abonado, pues, con un regulador de caudal, se controla de forma continua la velocidad angular del motor hidráulico que produce el desplazamiento del sistema de alimentación.

El accionamiento hidráulico aunque es más caro, permite una regulación cómoda y fácil de la dosis de abonado, pues, con un regulador de caudal, se controla de forma continua la velocidad angular del motor hidráulico que produce el desplazamiento del sistema de alimentación.

2.3.4.3 El sistema de distribución

El sistema de distribución puede ser de molinetes y de discos. En los repartidores de molinetes, estos pueden ir montados en el remolque horizontal o verticalmente con respecto al fondo de la caja. En ambos casos, los molinetes suelen estar formados por barras que llevan colocados elementos de dispersión de formas diversas, con los que se lanza el abono sobre el terreno.

Los molinetes horizontales se montan siempre en número de uno o dos, mientras que los verticales lo son en número de dos, tres, llegando a veces hasta cuatro. En cuanto a los discos usualmente se colocan dos colocadores al extremo de la caja.

El sistema de accionamiento de los órganos de distribución, se puede hacer desde las ruedas del propio remolque, desde la toma de fuerza del tractor, y los más modernos, mediante transmisiones hidráulicas. Según su enganche al tractor, los remolques pueden ser suspendidos, semisuspendidos y arrastrados

2.3.5 Ventajas y Desventajas de los procesos de distribución de fertilizantes

En Base a los estudios bibliográficos y a la investigación de experiencia en el campo de la agricultura, se analizara de forma detallada las ventajas y desventajas que presentan los diferentes métodos de distribución de abono para así poder determinar el óptimo para el actual proyecto. (Tabla 2.1).⁴

Manual		Tiro Animal		Mecanico	
Ventajas	Desventajas	Ventajas	Desventajas	Ventajas	Desventajas
No tiene costos de operacion considerable	Es lenta e ineficaz La fuerza generada para el trabajo no es constante El trabajador necesita descanso	Costos bajos de operación Se emplea herramientas simples para su ejecucion	Se trabaja poca area en demasiado tiempo Los animales necesitan agua y descanso para continuar con el proceso de abonado No se puede dosificar la cantidad de abono de una manera exacta	El area trabajada es grande en tiempos considerados cortos No se necesita descanso, por lo tanto se puede trabajar en largas jornadas Es muy eficaz y su precision es mayor Puede regular la dosificacion de abonado	El costo es mas elevado que los anteriores mencionados Se necesita mantenimiento regular dependiendo de los mecanismos

Tabla 2.1 Ventajas y desventajas de los procesos de abonado

Por razones lógicas los procesos mecánicos son mejores en comparación a los otros cuando se habla de eficiencia y menor tiempo en el que se efectúa el trabajo

Por ello veremos las ventajas y desventajas de los procesos mecánicos antes descritos. Haciendo énfasis en los sistemas de distribución y alimentación ya que son estos los que caracterizan las diferencias de las maquinas.⁵

2.3.5.1 Ventajas

Distribución por molinetes

⁴ ORTIZ, CAÑAVATE, J Las Abonadoras Agrícolas y su aplicación, Editorial – MP, 6ta Edición; 2003.

⁵ ORTIZ, CAÑAVATE, J Las Abonadoras Agrícolas y su aplicación, Editorial – MP, 6ta Edición; 2003.

Este sistema de distribución proporciona un mejor desmenuzamiento del abono favoreciendo a la menor formación de grumos de abono en el área de sembrado

Distribución por discos

Los discos dispersores proporcionan una mayor área de esparcimiento ya que pueden lanzar abono a 180 grados y no se limitan tan solo al ancho de la tolva como los de molinetes

Alimentación por barras metálicas

Proporciona una mayor resistencia a la corrosión provocado por los diferentes ácidos del abono a comparación de la banda transportadora

Alimentación por banda transportadora

La banda transportadora entrega el abono al sistema de distribución de una manera más uniforme y continúa que la alimentación por barras metálicas.

2.3.5.2 Desventajas

Distribución por molinetes

El área en el que puede esparcir abono se limita el ancho de la tolva de la maquina en si

Distribución por discos

Se necesita un agitador para que se formen grumos en el abono a distribuir ya que los discos no lo podrán realizar por sus limitados elementos de dispersión colocados en los mismos

Alimentación por barras metálicas

En este tipo de alimentación se produce sedimentaciones en la base de la tolva ya que las barras son equidistantes y dejan espacios libres

Alimentación por banda transportadora

Con una banda transportadora se limita el tiempo de vida del sistema de alimentación ya que aun siendo anticorrosiva se tendrá que cambiar en un determinado tiempo.

2.3.6 Selección del proceso de distribución de fertilizante

Como ya se ha determinado las ventajas y desventajas de cada proceso de abonado, se podrá llegar a la mejor alternativa para el presente proyecto.

Proceso	Facilidad económica	Factibilidad de operación y mantenimiento	Distribución del abono	Area cubierta de trabajo	Total (/20)
Distribucion por molinetes	2	5	5	2	14
Distribucion por discos	4	5	4	4	17

Tabla 2.2 Selección del proceso de distribución de fertilizante

Tomando en cuenta los parámetros como costos, facilidad de operación y mantenimiento, distribución del abono y el área cubierta de trabajo, se ha llegado a elegir la alternativa del sistema de distribución más favorable para el proyecto de la abonadora (Tabla 2.3)

Proceso	Facilidad económica	Factibilidad de operación y mantenimiento	Distribución del abono	Area cubierta de trabajo	Total (/20)
Alimentacion por barras metalicas	2	5	5	3	15
Alimentacion por banda transportadora	5	4	4	4	17

Figura 2.3 Alternativa del sistema de distribución

2.4 Tipos de Fertilizante

Los tipos de abono se pueden clasificar de distintas formas, ya sea según su origen (inorgánico e orgánico), composición (pura y compuesta) o característica (líquida sólida y gaseosa).⁶

⁶ ORTIZ, CAÑAVATE, J Las Abonadoras Agrícolas y su aplicación, Editorial – MP, 6ta Edición; 2003.

2.4.1 Clasificación por origen

2.4.1.1 Fertilizante inorgánico

Pueden ser de origen natural extraídos de la tierra, como el nitrato o bien sintéticos elaborados por el hombre.

Las plantas no distinguen entre procedencia natural o sintética, y ambos se descomponen antes de ser absorbidos. Generalmente los de este tipo son de acción rápida y estimulan el crecimiento y vigor de las plantas cuando se aplican sobre la superficie. (Figura 2.7)



Figura 2.7 Abono Inorgánico

2.4.1.2 Fertilizantes orgánicos

Pueden ser de origen animal (guano) o vegetal (compost, abonos verdes). La mayoría son de acción lenta, pues proporcionan nitrógeno orgánico que debe ser transformado en inorgánico por las bacterias del suelo antes de ser absorbido por las raíces. Como estos organismos no actúan en suelos fríos, ácidos o empapados, su efectividad y rapidez de acción dependerá del terreno.

Con estos fertilizantes no es tan fácil que se quemen las hojas como con los inorgánicos y efectúan un suministro continuo de alimento a las plantas por mucho tiempo, pero resultan más caros. (Figura 2.8)



Figura 2.8 Abono orgánico

2.4.2 Clasificación por composición

2.4.2.1 Fertilizantes simples

Los abonos simples están formados por un solo ingrediente activo. Generalmente contiene un solo alimento vegetal básico o pequeñas cantidades de otros (como la harina de huesos).

2.4.2.2 Fertilizantes compuestos

Los abonos compuestos están formados por mezclas de ingredientes activos, y generalmente están conformados por 3 nutrientes vegetales principales. Muchos de ellos contienen al mismo tiempo fuentes de sustancias nutritivas de acción rápida y lenta, lo que les permite mantener su acción nutritiva por más tiempo.

2.4.3 Clasificación por Característica

2.4.3.1 Fertilizantes sólidos

En el mercado existe una amplia variedad de abonos sólidos: en polvo, granulados, en gel, el pastillas y en bastones.

Los polvos actúan más rápidamente que los granulados, pero son más rápidamente que los granulados, pero son más incómodos de usar. Ambos se esparcen sobre el suelo con la mano o con equipo atomizador de abono.

Los bastones son unas especies de “clavos” de fertilizante concentrado, que deben introducirse en el suelo.

Las pastillas son fertilizantes completos, nutritivamente balanceados. Hay de dos tipos: para plantas de flor y de hoja.

2.4.3.2 Fertilizantes líquidos

Los abonos líquidos se aplican directamente sobre las plantas o disueltos en agua, con regadera o dosificador de manguera. Actualmente son muy utilizados los polvos solubles.

2.4.3.3 Fertilizantes gaseosos

En los fertilizantes gaseosos solo se emplea el amoníaco anhidro, el cual es un gas a la temperatura y presión ambiente. Para que pase a estado líquido y facilitar el almacenaje y el transporte, se comprime y vuelve a transformarse en gas cuando se inyecta en el suelo.

2.4.4 Granulometría

Las características físicas del fertilizante, especialmente la densidad aparente del mismo y su granulometría, condiciona el comportamiento de las abonadoras, limitando la anchura de trabajo y, sobre todo, el grado de uniformidad que se puede conseguir para la anchura de trabajo establecida.

El usuario de la abonadora debería proceder antes del esparcido a la determinación de dicha granulometría ajustándola en función de ella. Aunque la densidad aparente suele ser bastante estable en los diferentes tipos de abono (entre 0,85 y 0,95 kg/m³ para los abonos nitrogenados y entre 0,90 y 1,20 kg/m³ en los de tipo compuesto), la variabilidades mucho mayor en lo que se refiere a la granulometría del abono, lo que tiene un efecto muy significativo en la distribución por proyección.

Para gránulos del mismo abono, los de mayor tamaño llegan más lejos, mientras que los más pequeños alcanzan distancias mucho menores. En la siguiente tabla quedan reflejadas esas distancias, en función de una velocidad y altura de lanzamiento determinadas:

La distancia mínima y máxima de lanzamiento con diferentes tamaños de gránulo.

Velocidad inicial $V_0 = 12,6$ m/s y altura de lanzamiento $h = 0,7$ m

En la tabla anterior se puede observar que con gránulos de tamaño entre 0,4 y 0,5mm, la distancia de lanzamiento es 2,9 m, mientras que con gránulos de 1,2-1,6 mm se alcanzan 4,2 m. Por otro lado, los gránulos de 3,2 y 4 mm, que alcanzan 4,5 m, solo llegan un poco más lejos que los de tamaño de 1,2-1,6 mm. Esto hace recomendable que el rango de tamaño de

grano esté entre 1,5 y 5 mm de diámetro, considerándose como ideal una granulometría estable con el 80% de los granos, determinado en volumen, presenten un diámetro mayor de 2 mm.

Además de la granulometría hay otra serie de propiedades físicas que tienen influencia sobre el comportamiento de las abonadoras, aunque mucho menos que la granulometría o la densidad aparente, y que son:

Esfericidad

Cuanto más se aproximen los granos a una esfera menor es su resistencia aerodinámica, lo que permite una trayectoria estable.

Dureza de las partículas

Tiene una marcada influencia en su comportamiento al ser sometidas a choques, principalmente los golpes que proporcionan los elementos de proyección. El contenido en polvo de un abono es desfavorable tanto para la estabilidad del producto como para la uniformidad de la distribución ya que este tiene un alcance mucho más reducido.

Humedad y compactación

El exceso de humedad es siempre negativo, tanto para asegurar un buen almacenamiento, como para la propia distribución de la abonadora, ya que favorece la formación de terrones difíciles de romper por los elementos de proyección.

Tomando en cuenta los parámetros como costos, facilidad de operación y mantenimiento, capacidad de carga y la continuidad de alimentación, se ha llegado a elegir la alternativa del sistema de alimentación más favorable para el proyecto de la abonadora.

2.5 Abonadora

Es una máquina que se utiliza en los campos para distribuir abonos orgánicos (estiércol, cachaza, turba, compost, humus, etc.), abonos químicos (urea, fertilizantes industriales combinados), o minerales mejoradores del suelo (cal). Que puede ser accionada por un tractor, por tracción animal, o en modelos ligeros, con accionamiento manual. En dependencia se le conoce como fertilizadora, esparcidor de fertilizantes, trompo, etc.

Además, de los parámetros de diseño de una abonadora, hay que tener en cuenta que es una máquina de fácil limpieza y dependiendo del material usado para su construcción, puede soportar la fuerte corrosión que provocan los fertilizantes, siendo el acero inoxidable particularmente adecuado.

De manera Teórica a continuación se nombraran las partes esenciales de una abonadora

Chasis.

Tolva.

Dosificador.

Órganos de distribución.

Órganos de accionamiento.

Son precisamente las características de estas partes, las que permiten diferenciar unas de otras a estas máquinas agrícolas.

El chasis o bastidor, que es en general una viga soportada por ruedas o fija al elevador hidráulico del tractor, ha de ser de gran solidez, y además de soportar todos los elementos constituyentes de la máquina, debe permitir su enganche cómodo y rápido.

Según el modo de enganche al tractor se distinguen tres modalidades de abonadoras: arrastradas, semisuspendidas y suspendidas.

Las abonadoras arrastradas se fijan al tractor por un gancho colocado en la barra de enganche. Las abonadoras semisuspendidas se enganchan a los tres puntos del hidráulico durante el transporte, funcionando la máquina como suspendida en el transporte y semisuspendida durante el trabajo. Las abonadoras suspendidas se enganchan al tractor bien en los tres puntos de elevador hidráulico, bien en el sistema porta útiles en la parte delantera del tractor.

Por su tamaño y peso la mayoría de las máquinas de fertilización son del tipo arrastrado o semisuspendido, si bien desde el punto de vista de utilización las máquinas suspendidas tienen como ventaja su gran facilidad de maniobra, en cambio, 3 presentan problemas de capacidad al tener que construirse con limitaciones dimensionales.

La tolva se construye con formas que tienden, en general, a bajar el centro de gravedad del conjunto de la máquina. Las más antiguas alargadas y con formas de paralelepípedo, han evolucionado hacia las formas de tronco de cono o de pirámide, que permite además de una mayor comodidad de manejo, una elevada capacidad y un reducido coste de producción.

En todo caso, las tolvas deben ser concebidas de forma que faciliten la salida de la totalidad del abono contenido en su interior, para lo cual deben construirse sus paredes con ángulos mayores que el de talud natural del fertilizante.

En su interior, y para evitar la formación de bóvedas que impidan la salida del fertilizante, fenómeno muy frecuente cuando el abono está húmedo, debe existir un agitador, generalmente constituido por un árbol dentado que gira a baja velocidad y remueve la masa de abono.

Los dosificadores son los órganos que caracterizan a las abonadoras y son los encargados de separar de forma continua de la masa de abono contenido en la tolva la cantidad justa para aportar al terreno la dosis de fertilizante necesaria. En general su movimiento está sincronizado con el avance de la máquina de forma que la cantidad de abono sobre la que actúan y la superficie de terreno determinada por el desplazamiento de la abonadora mantienen una relación constante.

Los órganos de distribución tienen como misión situar en el terreno el abono aportado por los dosificadores, haciendo una distribución uniforme en toda la superficie fertilizada, o localizándolo según las características y las necesidades del cultivo.

El accionamiento de los elementos móviles de la máquina puede ser efectuado a partir de:

Dos ruedas portadoras de la máquina, que transmiten a través de un embrague, generalmente del tipo de garras, que se activa con una palanca.

De una rueda del tractor, desde la que se transmite el movimiento mediante piñones y cadenas en unos casos y con poleas y correas en otros.

De la toma de fuerza del tractor.

2.5.1 Clasificación de Abonadoras

Las abonadoras se clasifican, según como se lleva a cabo la distribución del abono, en:

2.5.1.1 Abonadoras por gravedad

El fertilizante pasa de la tolva al suelo por su propio peso, es decir, por la fuerza de la gravedad. La distribución transversal que este tipo de abonadoras consigue es bastante uniforme. La aplicación del fertilizante es proporcional al movimiento de la abonadora. Se utiliza para abonos granulados, perlados, cristalizados y especialmente para los pulverulentos, ya que estos últimos no se distribuirían uniformemente con otro tipo de abonadoras. Su mayor inconveniente es que su anchura de trabajo está muy limitada. Dentro de los distintos tipos de abonadoras por gravedad, la más utilizada es la de tornillo sinfín con tolva central, que tiene una anchura de trabajo de hasta 12 m.

2.5.1.2 Abonadoras centrífugas

El fertilizante es propulsado por un disco o péndulo de forma que adquiere una fuerza centrífuga que provoca el lanzamiento de las partículas fertilizantes a grandes distancias. Puede llegar a anchuras de trabajo de más de 30 m, cuando se utilicen abonos granulados, aunque la homogeneidad de trabajo no será tan buena como en las abonadoras por gravedad, por lo que habrá que realizar un solapamiento adecuado.

Dentro de las abonadoras centrífugas existen dos tipos: las de discos y las pendulares. (Figura 2.9)



Figura 2.9 Abonadora Centrifuga

2.5.1.3 Abonadoras de discos

Son las más utilizadas; el movimiento de los discos es uniforme, pero la distancia de proyección dependerá del punto en el disco donde caiga la partícula fertilizante y de la masa

de éste. Además también dependerá del tamaño del disco y de la altura a la que se encuentren. Las hay de un disco y de dos discos.

De un disco. El disco, en su parte superior, posee 2, 4 o más paletas. La forma y tamaño del disco, y especialmente de las paletas, es muy variable. En ciertos casos pueden incorporarse deflectores para lanzar en una determinada dirección las partículas que provienen de los discos.

De dos discos. Son similares a las de un disco, en cuanto a funcionamiento, pero éstas tienen dos discos colocados en un mismo plano, que giran uno en sentido contrario al otro. Las superficies donde el abono ha sido proyectado tienen un alto grado de solapamiento y esta superficie es trapezoidal o similar.

Con estas abonadoras se consiguen buenos resultados de uniformidad en los bordes de la parcela y mayores anchuras de trabajo que con las de un disco o las pendulares. (Véase la figura 2.10).



Figura 2.10 Abonadora de discos

2.5.1.4 Abonadoras pendulares

Son utilizadas para abonos granulados, tienen un tubo oscilante que es el que esparce el abono por medio de un movimiento pendular; la uniformidad de distribución dependerá de si la partícula tiene facilidad de adherirse y de que el deflector de salida sea más o menos resistente a la deformación por los golpes.

Suelen llegar a anchuras de trabajo de 10 m. No obstante, puede variarse la longitud del tubo, lo que cambiará la distancia donde llegará la partícula y, por lo tanto, la anchura de trabajo. La regulación de la dosis de aplicación dependerá del caudal que se establezca para una misma velocidad de avance.

En cualquier caso, no se utilizarán este tipo de máquinas para abonos pulverulentos, ya que estos serían desplazados a distancias muy cortas, dado su bajo peso y tamaño. (Véase Figura 2.11).



Figura 2.11 Abonadora Pendular

2.5.1.5 Abonadoras Neumáticas

Son las más modernas; el fertilizante se aporta al suelo por medio de una corriente de aire producida por un ventilador. Este tipo de equipos tiene una barra transversal desde la cual parten una serie de toberas, por donde sale el fertilizante y además de tener las piezas de los demás tipos de abonadoras, tienen un ventilador para la propulsión del fertilizante. Estas máquinas son muy adecuadas para aplicar bajas dosis de abono y la distribución que éstas consiguen es bastante uniforme.(véase la figura 2.12)



Figura 2.12 Abonadora Neumática

2.5.1.6 Abonadoras localizadoras.

Son las que incorporan el abono bajo el suelo a mayor o menor profundidad.

Baja profundidad.

Se utiliza un apero cultivador que posee una tolva con orificios en su base, un sistema dosificador proporcional al avance, que es el tornillo sinfín, y unos tubos de caída, cuyo número coincide con los brazos del cultivador que transportan el abono y lo introducen en el suelo a poca profundidad.

Alta profundidad.

Tienen igualmente una tolva y un dosificador que traspasa el abono a los tubos de caída de un subsolador por donde será repartido el producto a la parte más profunda del suelo.

2.5.1.7 Sembradoras Combinadas

Son equipos que permiten aplicar abono a la vez que se realiza la siembra. Se pueden distinguir dos tipos distintos: las de chorrillo y las de monograno.

Chorrillo. La abonadora tiene una tolva, que se puede incorporar con la tolva de las semillas separándolas interiormente. Hay dos formas de aplicación:

En la misma línea de siembra. Aplicando el abono a la misma o diferente profundidad que las semillas; ésta a veces puede provocar problemas en la germinación de las semillas por lo que no se aconseja que se lleve a cabo a la misma profundidad.

En distinta línea a la de siembra. El abonado se aporta entre dos líneas de siembra.

Monograno. Tienen una serie de complementos para abonar en la misma línea de siembra; pueden presentar una o dos tolvas de abonado para alimentar todas las líneas de siembra; la distribución se realiza por la fuerza de la gravedad, a través de los tubos de caída y permite localizar el abono en la línea

de siembra.

2.5.1.8 Pulverizadores

Se utilizan para la aplicación de abonos líquidos sobre la superficie del suelo, en cuyo caso necesitará una serie de boquillas especiales, según el tipo de fertilizante líquido. Los materiales de las partes del pulverizador que estén en contacto con el abono líquido deben ser adecuados para resistir la corrosión del producto. Los equipos que sirven para la aplicación de las suspensiones deben reunir unas características especiales, como:

Las conducciones deben tener una gran sección, para evitar obturaciones.

Requerirán de sistemas de agitación y filtrado.

Tienen un circuito de recirculación de producto.

Boquillas de elevado caudal.

Los equipos que sirven para la aplicación de soluciones nitrogenadas, principalmente la S.N. 32%, deben tener:

Boquillas de gotas gruesas (tres chorrillos) para evitar quemaduras en las hojas del cereal en las aplicaciones de cobertura.

No precisan de sistemas de agitación y filtrado.

La aplicación de suspensiones permite la incorporación de micro elementos y herbicidas simultáneamente. La aportación de solución N-32 en cereal permite aplicar a la vez herbicidas, aunque hay que valorar detenidamente la compatibilidad, época

y boquillas necesarias.

2.5.1.9 Equipos para la aplicación de amoniaco anhidro

Son equipos especiales para este fertilizante que precisa de especial atención por peligrosidad. Los equipos para la aplicación de amoniaco anhidro están constituidos por un depósito que soporte hasta 30 bares de presión, un sistema dosificador volumétrico, conductos para la conducción del amoniaco anhidro y rejas para su enterrado.

2.6 Evaluación y Calibración de Abonadoras

Existe un protocolo de evaluación y calibración de abonadoras que es una adaptación de la Norma UNE 68-088-88, maquinaria para abonar, que es el que se ha seguido.

2.6.1 Conceptos teóricos en el abonado

2.6.1.1 Importancia de una correcta dosificación

Dentro del capítulo 3 se explicara qué proporción es necesaria para ajustar la abonadora a la dosis deseada en función del abono empleado. No obstante es aconsejable comprobar que la dosis indicada coincide con la real ya que se pueden producir variaciones como consecuencia de la variabilidad de la granulometría del abono o por el desgaste que ocasiona el uso de las máquinas. Para cada posición de la palanca, o del conjunto de palancas dosificadoras, el caudal de abono que llega a los elementos de esparcido es el que condiciona la dosis de abonado, junto con la anchura de distribución y la velocidad de avance.⁷

2.6.1.2 Importancia de la velocidad de avance

Son las condiciones de campo las que deben considerarse para establecer la velocidad de avance durante la operación de abonado.

Se consideran aceptables velocidades comprendidas entre 6 y 10 km/h cuando el campo está despejado y algo menores cuando hay que trabajar siguiendo las líneas de cultivo. En cada caso será el estado del terreno el que aconseje aumentar o reducir la velocidad de avance para mantener una elevada capacidad de trabajo, evitando sacudidas que puedan afectar a la calidad de la distribución. En cualquier caso, la velocidad elegida debe corresponder, en cada relación del cambio de marchas, al régimen establecido de la toma de fuerza. (Véase Figura 2.13)

⁷ Márquez. Técnicas y equipos para la distribución de fertilizantes. Seminario, 1998.



Figura 2.13 Abonadora en proceso de trabajo

2.6.1.3 Importancia de la uniformidad

Ya se ha comentado que hoy la tendencia en agricultura es la «precisión». Muy importante es esa precisión en cuanto a la distribución del abono. De nada sirve que la dosis por ha sea la correcta si el reparto es irregular, bien por solapamiento inadecuado, bien por mal funcionamiento de la abonadora. El objetivo de una buena distribución es que a todos los puntos de la curva acumulada llegue la misma cantidad de abono. En ensayos realizados con cultivos diversos, incluida la remolacha azucarera, se ha observado una disminución de los rendimientos según aumenta el C.V. La explicación es que hay puntos de la parcela que reciben la dosis adecuada pero hay otros muchos que reciben más o menos dosis. Y el posible aumento de la producción en zonas que reciben más abono no compensa las pérdidas en las zonas donde la cantidad de fertilizante es menor.

En algunos ensayos se ha llegado a determinar hasta un 15% de pérdida de beneficio neto cuando el C.V. era mayor del 50%. Además, y como también hemos comentado varias veces, el respeto al medio ambiente se ha convertido en otro de los pilares de la agricultura, y una irregular distribución

tiene un segundo efecto negativo, sobre todo en el caso de abonos nitrogenados (debido a su gran movilidad en el agua), que es la contaminación de suelos y acuíferos próximos. Se diferencian dos tipos de uniformidad:

Longitudinal.

Transversal.

En el siguiente cuadro quedan reflejados los factores que afectan a la uniformidad de la distribución.

Uniformidad de distribución longitudinal

Es, en principio, la menos dependiente de las condiciones externas, y por tanto la más fácil de garantizar. Depende principalmente de las características físicas del abono (ver apartado anterior) que afectan a la capacidad de salida del mismo desde el fondo de la tolva y del sistema de regulación de la dosis. En el caso de las abonadoras pendulares y de doble disco, el caudal de abono que se extrae de la máquina se modifica en función de la velocidad de avance y de la apertura de la ventana de dosificación.

Uniformidad de distribución transversal

La uniformidad de distribución transversal se presenta como un objetivo de más difícil consecución y depende de muchos más factores que la anterior. Como regla general podemos decir que la anchura de trabajo, el sistema de distribución y las características físicas del abono son los factores determinantes.

En las abonadoras de proyección, la anchura de esparcido nunca puede coincidir con la anchura de trabajo, ya que es necesario un solapamiento entre pasadas que garantice la uniformidad de la aplicación, la cantidad de abono que llega a las diferentes bandas paralelas a la línea por la que circula la abonadora, disminuye a medida que se separa del centro del equipo, lo que hace necesario el solapamiento que compense esta caída del nivel de fertilización.

Cada abonadora tiene su propio «diagrama de distribución transversal», entendiéndose como tal la representación gráfica de la cantidad de abono distribuida a lo largo de una línea perpendicular al avance de la máquina. Este diagrama suele ser de tipo «triangular» o de tipo «trapezoidal». Un diagrama de distribución simétrico y una anchura de trabajo adecuada al mismo permitirán, juntamente con la utilización de un abono con una granulometría homogénea, la obtención de una curva de distribución acumulada una vez realizado el solapamiento correspondiente.⁸

Con un diagrama de distribución triangular la mejor uniformidad de la distribución se consigue cuando cada una de las pasadas contiguas se realiza en los límites del alcance del

⁸ Márquez. Técnicas y equipos para la distribución de fertilizantes. Seminario, 1998.

abono de la pasada anterior. En el caso de la distribución trapezoidal la distancia entre pasadas puede ser mayor, pero tanto en un caso como en el otro, es necesario que el recubrimiento se realice de manera que en la línea media trazada entre dos pasadas contiguas, se recoja la mitad de la cantidad de abono que en el centro de la pasada (eje por el que circula el tractor) procedente de cada uno de los lados. Así se consigue una distribución uniforme, pero teniendo en cuenta que cualquier variación de la anchura de trabajo afectaría al solapamiento, y con ello a la uniformidad de distribución del fertilizante. Cuando el diagrama de distribución que ofrece la abonadora es de tipo «triangular», pequeños errores en el solapamiento tienen escasa influencia sobre la uniformidad de distribución; por contra, en las «trapezoidales», en las que pequeños errores en la distancia entre pasadas pueden afectar considerablemente a la uniformidad de distribución.

Para los ensayos de laboratorio se utilizan instalaciones fijas que permiten una gran precisión en las determinaciones, recogiendo el fertilizante esparcido en cajas de dimensiones normalizadas que cubren toda la anchura de esparcimiento de la máquina, para su posterior pesada de precisión. A partir de las cantidades de abono recogidas en cada caja se puede calcular la uniformidad de distribución con diferentes grados de solapamiento mediante lo que se conoce como Coeficiente de Variación (C.V.) para cada una de las anchuras efectivas de trabajo recomendadas. Este C.V. es la relación, calculada en porcentaje, entre la desviación típica (calculada por diferencia entre las cantidades de abono recogidas en cada caja con respecto a la media de todas ellas) y el valor medio absoluto de la cantidad recogida en cada caja. Para los ensayos en laboratorio se establecen los siguientes valores de uniformidad:

2.6.1.4 Importancia de la regulación de la maquinaria

Quizá el proceso de abonado es la asignatura pendiente hoy día en la agricultura. Cada vez más se ha tendido a una siembra correcta que asegure una buena esencia, a una dosificación precisa de fitosanitarios porque su exceso resulta perjudicial para el cultivo. Es hora de controlar el abono que se gasta. Para ello es necesario que la abonadora esté correctamente regulada.

Hay varios factores que afectan a la distribución de abono y que deben controlarse, pero sobre todo hay que tener en cuenta las condiciones de trabajo que indica el fabricante de la abonadora en el manual del usuario. Cada máquina como mejor funciona es de acuerdo a sus propias recomendaciones. A continuación se comentan unas generalidades:

Revoluciones de la toma de fuerza. La mayoría de los fabricantes de abonadoras, después de diversos ensayos y pruebas, recomiendan que se trabaje a 540 r.p.m., pues es a estas revoluciones a las que se alcanzan las mayores anchuras de trabajo sin forzar la máquina. Menos r.p.m. implica que el abono llega a menos distancia y la distribución es peor.

Altura de la máquina. A mayores alturas sobre el suelo se consiguen mayores anchuras de trabajo.

Paletas en los discos, controlar el desgaste, la posición, que estén en perfecto estado, un mal estado implica una irregular distribución.

Escalas, índices, aperturas y cierres de los puntos de salida del abono de la tolva. Fundamental para la buena aplicación ya que un mal cierre o apertura de las salidas, por ejemplo, hace que no sirva para nada todo lo demás.⁹

⁹ ROMERO, ESPAÑA, SUÁREZ. Maquinaria y Producción Agrícola; Ediciones de la Universidad de Castilla.

CAPITULO III : DISEÑO DE LA MAQUINA ABONADORA

3.1 Generalidades

La presente tesis propone un modelo de diseño versátil que se podrá adecuar a los diferentes tipos de siembra, sin embargo el diseño desarrollado ha tomado como muestra la caña de azúcar, ya que es uno de los elementos principales de cultivo en la zona.

En este sentido el presente capitulo explica el diseño, considerando la parte mecánica y de control tal como se muestra en la figura 3.1.

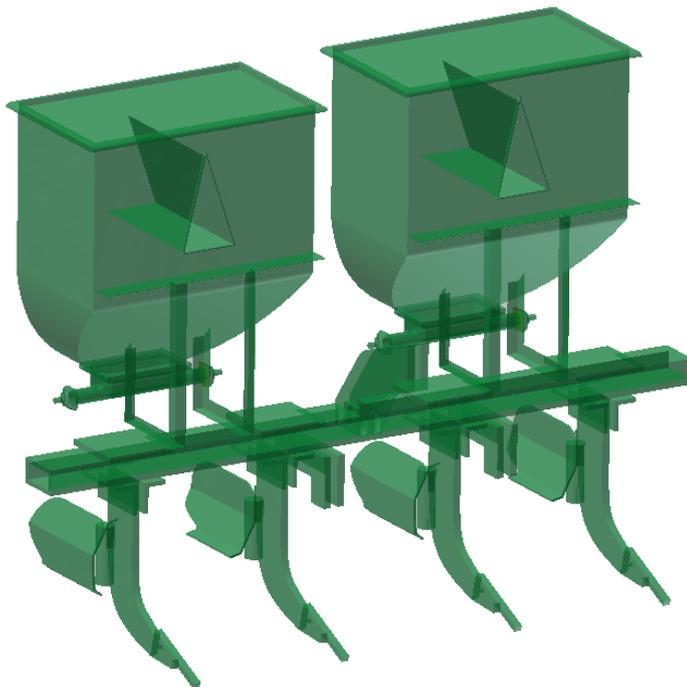


Figura 3.1 Propuesta de Maquina Abonadora

3.2 Características de la Maquina

En el proceso de preparación de tierras antes del cultivo hay diversos pasos como el arado, la siembra, etc.

Para la presente de tesis se ha tomado en cuenta algunos pasos e incluirlos dentro del diseño para que la maquina se convierta en una maquina abonadora re acondicionadora, las

herramientas incluidas dentro de la maquina son un surcador y una acequiadora, que ayudaran a que el proceso de abonado sea más homogéneo a lo largo del terreno.

El modelo que se plantea para el diseño de la maquina es como se muestra en la figura 3.1. Se necesita de 2 tolvas, para poder tener la cantidad suficiente de fertilizante a suministrar en los terrenos, además para extraer el fertilizante de las tolvas se va a hacer uso de dos tornillos sin fin que harán caer el fertilizante por los canales de dosificación para ser luego suministrado a cada sembrío los terrenos de cultivo.

Después de hacer caer el fertilizante se lo hará caer por los tubos de conducción hasta la zona del acequiador por donde habrá un conducto que dosificara el fertilizante a cada planta en el terreno.

3.3 Diseño Mecánico la Máquina Abonadora

3.3.1 Tolva

Es el dispositivo cuyo propósito está destinado al depósito y canalización de materiales granulares, pulverizados o líquidos y se lo construye de varios tamaños y formas ya sea principalmente en acero inoxidable para líquidos u otro material que evite la oxidación para granos.

Un material alternativo podría ser el acero lamiado galvanizado ASTM A653, ya que a comparación del acero inoxidable, los costos son extremadamente menores.

Se escogió este material para la construcción de cada una de las piezas de la maquina excepto los tornillos sin fin y las patas, debido a que es un producto que posee las características de resistencia mecánica del acero y es muy resistente a la corrosión gracias al zinc que posee.

El zinc se puede usar en alimentos que no estén destinados al consumo humano, en este caso, el alimentos es para consumo animal, y no estará estancado ya que circulara todo el tiempo, por lo tanto no existe riesgo de contaminación.

Las ventajas que tenemos al usar este material son:

Duración excepcional

Resistencia mecánica elevada

Protección integral de las piezas (interior y exteriormente)

Barrera física

Protección electroquímica.

Auto curado.

Fácil de pintar.

3.3.1.1 Requerimientos Funcionales de la Tolva

Se necesita una tolva que sea capaz de contener el abono suficiente, para un mínimo de 2 hectáreas. El fertilizante es seleccionado por el agricultor, pero para nuestro proyecto consideraremos el abono nitrogenado o también llamado urea, esto quiere decir que se necesita como mínimo 440kg de abono por 2 hectáreas, así que cada tolva debe contener un mínimo de 220 de abono por tolva, la densidad del abono es 700 – 820 (kg/m³).

$$V_t = \frac{m}{d} \dots\dots\dots \text{Ecuación (1)}$$

Dónde:

V_t = Volumen total de la tolva

m = Masa del abono

d = densidad del abono

Reemplazando los datos en la ecuación (1) obtenemos:

$$V_t = \frac{440[\text{kg}]}{800[\text{kg} / \text{m}^3]}$$

Entonces de la ecuación podemos observar que:

$$V_t = 0.55\text{m}^3 \dots\dots\dots \text{Ecuación (2)}$$

Volumen mínimo requerido para cada tolva

Para usos futuros, la maquina se construirá de manera sobredimensionada, es por eso que las medidas que se escogen para construir la tolva son de mayor tamaño para contener mayor tiempo el fertilizante.

Como se pudo ver en la figura al inicio de este capítulo la maquina cuenta con 2 tolvas

Para el cálculo del volumen de la tolva construida se dividirá en 2 partes:

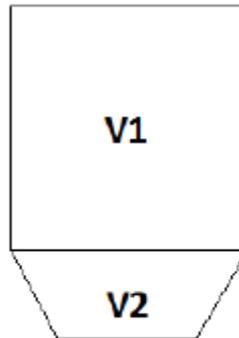


Figura 3.2 Esquema de la Tolva

$$V_t = V_1 + V_2 \dots\dots\dots \text{Ecuación (3)}$$

Dónde:

V_t = Volumen total para una tolva

V_1 = volumen de la parte rectangular

V_2 = volumen de la parte pirámide rectangular

Tenemos:

$$V_2 = \frac{h}{3} x (AB + Ab + \sqrt{AB + Ab}) \dots\dots\dots \text{Ecuación (4)}$$

Reemplazando los datos de los planos obtenemos:

$$V_2 = 0.16992m^3$$

Por lo tanto reemplazando en la ecuación (3)

$$V_t = V_1 + V_2$$

$$V_t = 0.41981m^3 + 0.16992m^3$$

$$V_t = 0.58973m^3$$

Pero como tenemos 2 tolvas el resultado será el siguiente

$$V_{total} = 0.58973m^3 \times 2$$

$$V_{total} = 1.17943m^3$$

La capacidad de la tolva es suficiente ya que no solo podremos abarcar 2 hectáreas sino podremos agregar más fertilizante dependiendo del trabajo.

3.3.1.2 Presión Interna que soporta la Tolva

Ahora se va a introducir la presión interna máxima que soporta la tolva debido al fertilizante

$$P = \frac{F}{A} \dots\dots\dots \text{Ecuación (4)}$$

Si F es igual a:

$$F = mxa$$

Y A es igual a:

$$A = \frac{V}{L}$$

Entonces se reemplaza en la ecuación

$$P = \frac{F}{A}$$

Y obtenemos:

$$P = \frac{mxaxL}{V_{total}} \dots\dots\dots \text{Ecuación (5)}$$

Dónde:

P = Presión interna [N/m²]

m = Masa del fertilizante en las tolvas llenas 1000 Kg

a = g Gravedad 9,8 m/s²

L = h altura de la tolva 1.5 m

V_{total} = 1.17943 m³

F = Fuerza que aplica el fertilizante debido a la gravedad

A = Área ocupada por el alimento en m²

Entonces reemplazando los datos en la ecuación (5)

$$P = \frac{m \times a \times L}{V_{total}}$$

Obtenemos:

$$P = \frac{1500 \text{kg} \times 9,8 \text{m} / \text{s}^2 \times 1,5 \text{m}}{1,17943 \text{m}^3}$$

$$P = 18695,47 \text{N} / \text{m}^2$$

Dado que el límite de fluencia mínima del material es: 2500[kg / cm²]

Que es igual a

$$2500 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times 9,8 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \times 10000 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}^2}$$

Entonces:

$$2,45 \times 10^8 [\text{N} / \text{m}^2]$$

El material soporta una fluencia mínima de $2,45 \times 10^8 [\text{N} / \text{m}^2]$ antes de deformarse, y la presión interna es de $P = 18695,47 \text{N} / \text{m}^2$, por lo tanto la tolva si soporta el material en su interior

3.3.1.3 Esfuerzos a los que está sometido la Tolva

$$\sigma_t = \frac{pxh}{2xt} \dots\dots\dots \text{Ecuación (6)}$$
$$\sigma_l = \frac{pxh}{4xt}$$

Dónde:

σ_t = esfuerzo tangencial [N / m^2]

σ_l = esfuerzo longitudinal [N / m^2]

$h = 1.03 \text{ m}$

$p =$ Presión interna $P = 18695.47 N / m^2$

$t =$ espesor de la placa

Entonces reemplazando en la ecuación (6) obtenemos:

$$\sigma_t = \frac{(18695.47)(1.03)}{2xt}$$

$$\sigma_l = \frac{(18695.47)(1.03)}{4xt}$$

Al resolver las ecuaciones obtenemos por resultado

$$\sigma_t = \frac{9628.16}{t}$$

$$\sigma_l = \frac{4814.08}{t}$$

3.3.1.4 Análisis según la teoría del esfuerzo cortante máximo

Aplicando la teoría del esfuerzo cortante máximo se determina el espesor de la placa

$$\sigma_t = \sigma_1 \dots\dots\dots \text{Ecuación (7)}$$
$$\sigma_l = \sigma_2$$

La teoría del esfuerzo cortante máximo dice:

$$\sigma_e = \sigma_1 + \sigma_2 \leq \frac{S_y}{n} \dots\dots\dots \text{Ecuación (8)}$$

Dónde:

σ_1, σ_2 = esfuerzos principales

σ_e = esfuerzo equivalente

S_y = esfuerzo de fluencia del acero laminado galvanizado $3.4545 \times 10^8 [N / m^2]$

n = Factor de seguridad 2.

El material seleccionado tiene un espesor de $t = 2\text{mm}$ (0.002m)

Entonces reemplazando los datos en las ecuaciones (7) y (8) obtenemos lo siguiente:

$$\sigma_e = \frac{9628.16}{2} + \frac{4814.08}{2} \leq \frac{3.4545 \times 10^8}{2}$$

$$\sigma_e = 4814.08 + 2407.04 \leq 1.72725 \times 10^8$$

$$\sigma_e = 7221.12 \leq 1.72725 \times 10^8$$

Con lo que se puede decir que la tolva está sobredimensionada por lo tanto el material es adecuado para su construcción.

3.4 Selección del Motor

El motor está colocado de tal forma que permita conectarse mediante cadena a los tornillos sin fin, además para optimizar el espacio se lo colocará lo más cerca posible de los mismos.

Para poder encontrar el motor adecuado, se tiene que vencer la cantidad de inercia que se produce al obtener el fertilizante de la tolva mediante un tornillo sin fin.

El momento de inercia se obtiene:

$$\sum M = \sum Ix\alpha \dots\dots\dots \text{Ecuación (9)}$$

Dónde:

M = Momento [Nm]

I = Inercia de los elementos del sistema

α = Aceleración angular [rad / s^2]

3.4.1 Inercias del Sistema

Las inercias del sistema son:

Inercia del eje

Inercia del Fertilizante

3.4.2 Inercia del Eje

Se asume que el diámetro del eje es de 2 mm de acero SAE 4140 que se puede utilizar para este tipo de aplicaciones para este tipo de aplicaciones. Se puede recalcular el valor más adelante.

$$I_{eje} = \frac{\pi d^4 L_e \rho_{at}}{32} \dots\dots\dots \text{Ecuación (10)}$$

Dónde:

Lt = Posible longitud del eje en base al tornillo 0.35 [m]

p = Densidad del acero SAE 4140; $7,85 \text{ g} / \text{cm}^3 = 7850[\text{kg} / \text{m}^3]$

d = Diámetro para el eje 0.026[m]

Entonces reemplazando los datos en la ecuación (10) obtenemos

$$I_e = 1.232 \times 10^{-4} [\text{kg} / \text{m}^2]$$

3.4.3 Inercia del Fertilizante

Se realiza el cálculo a partir del reposo porque es cuando el motor requiere mayor potencia.

Se considera el tornillo sin fin está completamente lleno y con él, la caja donde se encuentra el eje regado de fertilizante proveniente de las tolvas.

Si consideramos que toda la caja está llena, tenemos

$$Pa = \pi x D_i \dots\dots\dots \text{Ecuación (11)}$$

Dónde:

Pa = Perímetro ocupado por el alimento, (lleno)

Di = Diámetro interno del cilindro donde está el tornillo sin fin, 0.063

Reemplazando en la ecuación (11) obtenemos:

$$p = 0.197m$$

Considerando que la caja está llena, el ángulo alfa es igual a:

$$\beta = 360^\circ = 6.28[\text{rad}]$$

Con este ángulo se puede determinar el momento de inercia que ocupa el fertilizante con respecto al eje, a este se lo llama momento polar de inercia y se obtiene:

$$I_p = I_x + I_y \dots\dots\dots \text{Ecuación (12)}$$

I_p = Momento polar de inercia.

$$I_x = \frac{r^4}{4} (\beta - \text{sen}\beta x \cos \beta + 2\text{sen}^3 \beta x \cos \beta) \dots\dots\dots \text{Ecuación (13)}$$

$$I_y = \frac{r^4}{12} (3\beta - 3\text{sen}\beta x \cos \beta + 2\text{sen}^3 \beta x \cos \beta)$$

Entonces de la ecuación (13) obtenemos:

$$I_x = 4.408x10^{-8}m^4$$

$$I_y = 4.407x10^{-8}m^4$$

Reemplazando en la ecuación (12) se obtiene lo siguiente:

$$I_p = 8.81x10^{-8}m^4$$

Con estos datos se puede calcular la inercia del alimento:

$$I_{\text{fertilizante}} = \rho_{\text{fertilizante}} x L x I_p$$

Dónde:

$I_{fertilizante}$ = Inercia del Alimento

$\rho_{fertilizante}$ = Densidad del alimento (768[kg / m³])

L= Longitud del eje 0.7 [m]

I_p =Inercia polar

Entonces reemplazando obtenemos:

$$I_{fertilizante} = 0.00047[\text{kg} / \text{m}^3]$$

Reemplazando en la ecuación (9):

$$\sum M = \sum Ix\alpha$$

Se tiene:

$$\sum I = 0.00047[\text{Kg} / \text{m}^3]$$

Al tener la inercia total se procede a calcular el momento que realiza el motor sobre el eje, se debe considerar los momentos de torsión opuestos al motor.

$$M_T - M_o = \sum Ix\alpha \dots\dots\dots \text{Ecuación (14)}$$

Dónde:

M_T = Momento de torsión que realiza el motor al eje [Nm]

M_o = Momento opuesto a causa del recorrido del fertilizante [Nm]

Se puede deducir una ecuación

$$M_o = mxgxr_i \dots\dots\dots \text{Ecuación (15)}$$

Dónde:

Masa del fertilizante 440[kg]

ri = Radio interno de la caja 0.013[m]

g = gravedad

Reemplazando en la ecuación (15) obtenemos:

$$M_o = 56.056[Nm]$$

El cálculo de la aceleración angular se lo realiza tomando en cuenta 20 rpm

$$20rpm * \pi * \frac{2}{60} = 2.09rad / s$$

Reemplazando en la ecuación (14) obtenemos:

$$M_T - M_o = \sum Ix\alpha$$

Obtenemos:

$$M_T = 56.05[Nm]$$

Teóricamente la potencia del motor es:

$$P_{motor} = M_T \cdot \omega_2 \dots\dots\dots \text{Ecuación (16)}$$

Dónde:

ω_2 = Velocidad angular del tornillo sin fin.

Entonces tenemos de la ecuación (16).

$$P_{motor} = 56.05\omega_2$$

$$P_{motor} = 117.14[w] = 0.157[hp]$$

3.5 Diseño del Tornillo Sin Fin

Como se indicó anteriormente los tornillos sin fin, irán dentro de una caja que se ubicara en la parte inferior de cada tolva.

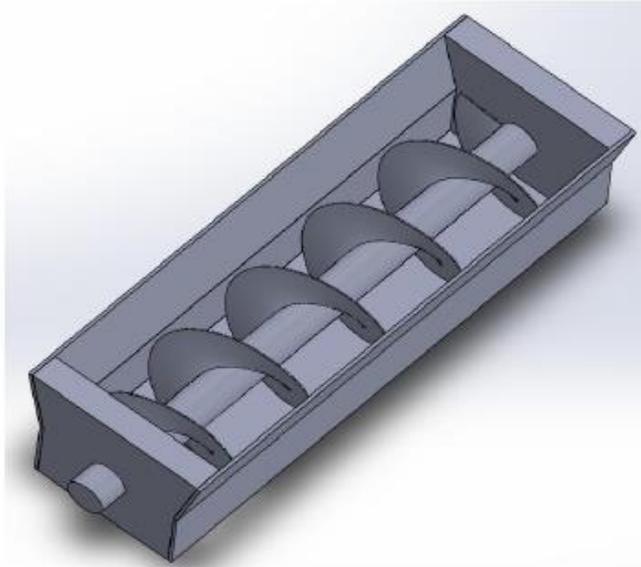


Figura 3.3 Esquema del Tornillo sin fin

Se preselecciona una barra de hierro macizo que sirve como eje para crear el tornillo sin fin, es del tipo SAE-4140, las propiedades mecánicas más importantes de un material como el hierro son tenacidad, maleabilidad, ductilidad, dureza, deformación plástica, resistencia a la abrasión.

Esto hace de este material apto para colocarlo como eje del tornillo sin fin, puede aguantar las presiones sin deformarse y con una capa de pintura acrílica, se lo protege de la oxidación.

Las características de este material son:

Esfuerzo a la fluencia: 690 Mpa

Esfuerzo máximo: 900 – 1050 MPa (130 – 152 KSI)

Elongación mínima: 12%

Densidad: 7,85 g/cm³

A esta barra se la cortara en pedazos de 40 cm en donde se colocaran las tiras del acero inoxidable las cuales al ser soldadas y estiradas no dará la forma de tornillo sin fin que se desea.

El acero que se utilizó para formar los tornillos sin fin fue el acero inoxidable AISI 304, su resistencia mecánica es de 60kg/mm² y su dureza de 175-200HB (Dureza Brinell), es un acero muy comercial en el mercado de la metalurgia ya que resiste temperaturas de hasta 400°C.¹⁰

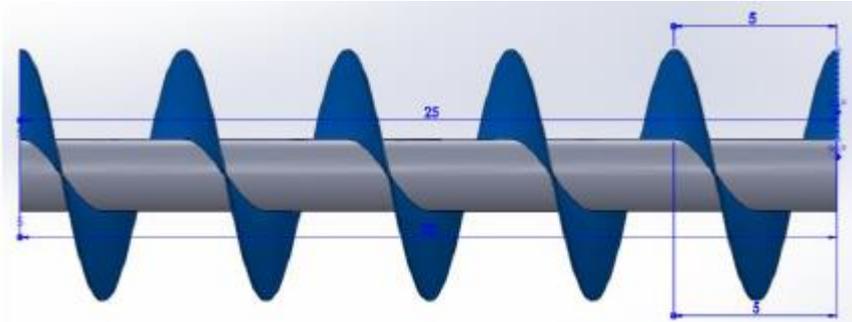


Figura 3.4 Diseño del Tornillo sin fin

Se considera que para dos hectáreas debe alcanzar alrededor de 700 kilos para poder cubrir toda el área lo que vendría a ser 350 kilos por hectárea.

Suponiendo que la maquina trabaja 24 horas al día:

$$1 \text{ día} = 24\text{h}$$

$$\text{Caudal} = [m^3 / h]$$

Entonces:

Calculando el caudal del material

Primero

hallamos área de relleno del canalón

$$S = \lambda \frac{\pi D^2}{4} \dots\dots\dots \text{Ecuación (17)}$$

Siendo :

λ = Coeficiente de relleno de la sección (menor que la unidad para evitar amontonamiento)

¹⁰ SHIGLEY, J. MISCHKE, CH. Diseño en Ingeniería mecánica. 8va Edición MacGraw Hill. 2008.

Entonces reemplazamos en la ecuación (17):

$$S = 0.25 \frac{\pi(0.0625)^2}{4}$$

$$S = 7.91 \times 10^{-4} (m^2)$$

Luego:

Hallamos la velocidad de desplazamiento del transportador (m/s)

$$v = \frac{t.n}{60} \dots\dots\dots \text{Ecuación (18)}$$

Siendo

t = Paso del tornillo (m)

n = velocidad de giro del tornillo

Entonces reemplazamos en la ecuación (18)

$$v = \frac{0.0315 \times 60}{60}$$

$$v = 0.0315 m^2$$

Ya contando con ambos datos ahora procedemos a integrarlos a la fórmula de obtención del caudal de material.

$$Q = 3600.s.v.\gamma.k \dots\dots\dots \text{Ecuación (19)}$$

Siendo:

γ = Densidad del material (kg / m^3)

k = coeficiente de disminución del flujo de material

Entonces reemplazamos los datos en la ecuación (19):

$$Q = 3600.(7.91 \times 10^{-4}).(0.0315)(768)$$

$$Q = 68.95 [kg / h]$$

$$Q = 0.089 [m^3 / h]$$

Entonces el caudal transportado = $0.089[m^3 / h]$

Los datos necesarios para realizar los cálculos son los siguientes:

Longitud del transportador 0.70[m]

Elevación 0[m]

Angulo de elevación 0°

Motor 60 rpm

Caudal Transportado $0.089 - 0[m^3 / h]$

Di. Del canal de transporte 0.0635[m]

Densidad del alimento: d 768 [kg / m^3]

Para calcular la potencia del transportador en plena carga se calcula:

$$P = Ph + Pn + Pst \dots\dots\dots \text{Ecuación (20)}$$

Dónde:

Ph = Potencia necesaria para el desplazamiento del material.

Pn = Potencia para el accionamiento del tornillo en vacío.

Pst = Potencia requerida por la inclinación.

La capacidad del transportador de un tornillo sin fin se expresa así:

$$Im = dxlv \dots\dots\dots \text{Ecuación (21)}$$

$$Im = 0.089 \frac{m^3}{h} \times 768 \frac{kg}{m^3}$$

$$Im = 68.95 \left[\frac{Kg}{h} \right]$$

Ahora calcularemos Ph

$$Ph = \frac{Im \times L}{3600} \lambda g \dots\dots\dots \text{Ecuación (22)}$$

$$Ph = \frac{(68.95) \times 0.7 \times 9.81 \times 1.2}{3600}$$

$$Ph = 0.157kw$$

La potencia PN es muy pequeña comparada con la requerida para el desplazamiento del material. El valor es proporcional al diámetro y la longitud del tornillo. Viene dado en kilovatios por la fórmula siguiente y su valor es:

$$Pn = \frac{DL}{20} \dots\dots\dots \text{Ecuación (23)}$$

$$Pn = \frac{0.0635 \times 0.7}{20}$$

$$Pn = 0.0022Kw$$

La potencia requerida por la inclinación, en kilovatios, es el producto de la capacidad por la altura a salvar y por la aceleración de la gravedad.

En este caso, no tenemos inclinación ya que el tornillo se encuentra a 0° de inclinación por lo tanto:

$$Pst = 0.$$

La potencia requerida del sistema es:

$$P = Ph + Pn + Pst$$

Entonces sumando:

$$P = 0.157kw + 0.0022kw$$

$$P = 0.1592kw$$

La potencia que da el motor es:

$$\text{Torque: } 2.55Nm$$

$$\text{Velocidad angular: } 6.28 \text{ rad/s}$$

$$Pm = 16.014[w]; 0.016[Kw]$$

3.5.1 Diseño del Eje de Transmisión (Figura 3.5)

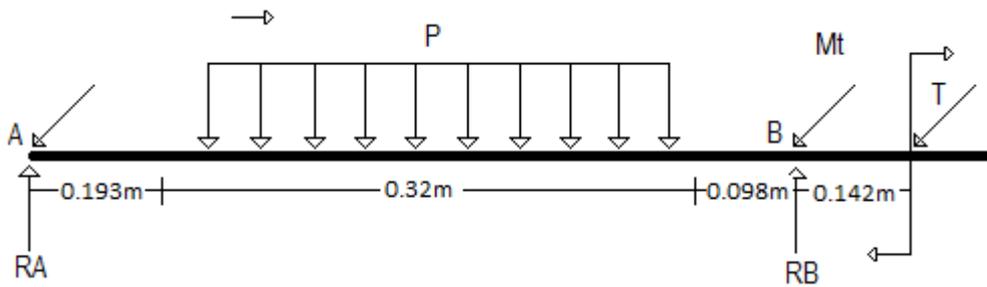


Figura 3.5 DCL del eje de transmisión

Dónde:

R_A = Carga sobre el rodamiento A [N]

R_B = Carga sobre e rodamiento B [N]

M_t = Momento torsor, [Nm]

T = Tensión transmitida por el motor, [N]

p = Peso del tornillo sin fin y el alimento por unidad de longitud [N/m]

La carga del alimento se distribuye de forma uniforme, el peso del alimento como del tornillo sin fin se da por:

$$p = d x A_T + \frac{P_p}{L} \dots\dots\dots \text{Ecuación (24)}$$

Dónde:

d = Densidad del fertilizante. $768 [kg / m^3]$

A_T = Área Transversal del eje del tornillo sin fin $0.079 [m^2]$

P_p = Peso del fertilizante $500 [kg]$

L = Longitud del tornillo sin fin $0.74 [m]$

$$P = 40994.5 \frac{kg}{m}$$

Por lo que el peso total del fertilizante y el tornillo sin fin:

$$Pt = 40994.59 \times 0.74m$$

$$Pt = 30336[kg] = 297292.8[N]$$

El momento torsor se da por:

$$Mt = \frac{P_m}{n_2} \dots\dots\dots \text{Ecuación (25)}$$

Dónde:

$$P_m = 117.14[w]$$

$$n_2 = 2.09[rad / s]$$

Reemplazando:

$$Mt = 56.04[N.m]$$

La transmisión de potencia se lo realiza por medio de una cadena, se da por:

$$T = \frac{Mt}{d/2} \dots\dots\dots \text{Ecuación (26)}$$

Dónde:

T = tensión transmitida al eje

Mt = Momento torsor en el eje 56.04[N.m]

D = diámetro del piñón conducido 0.051[m]

Reemplazando:

$$T = 2197.954[N]$$

Con la ayuda del software MDSolids, se puede determinar estas reacciones.

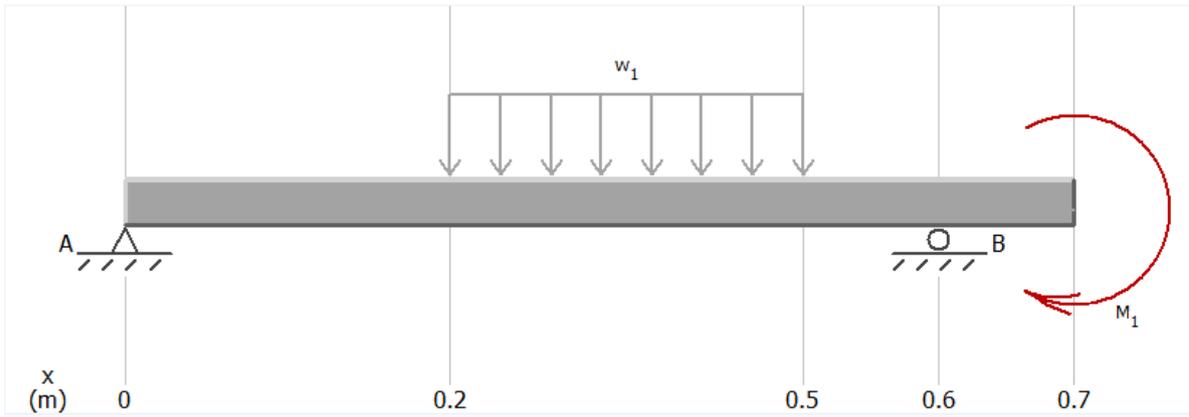


Figura 3.6 Representación de Reacciones

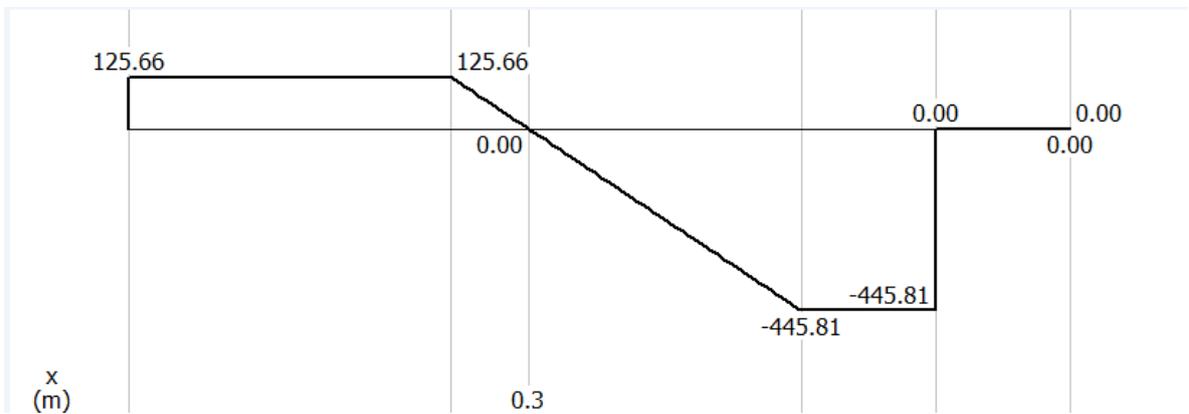


Figura 3.7 Diagrama de Esfuerzo cortante

$$I = \frac{\pi d_{\text{eje}}^4}{64}$$

De la figura se puede obtener los resultados de:

$$R_A = 126[\text{N}]$$

$$R_B = 446[\text{N}]$$

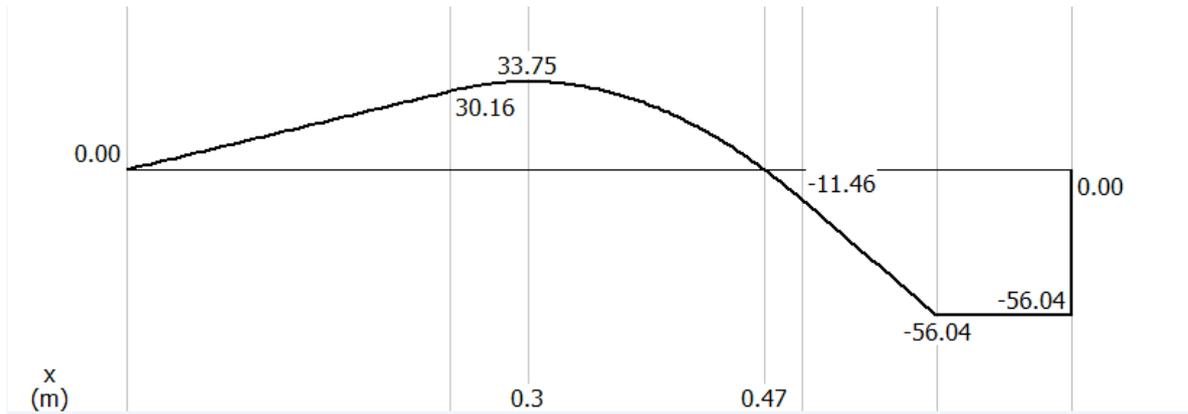


Figura 3.8 Diagrama de Momento Flector

De esta figura se puede obtener que el momento flector máximo es de:

$$M_{\max} = 33.75[Nm]$$

Conociendo las cargas a las que está sometido el eje de transmisión, el eje preseleccionado anteriormente cumple con los requerimientos.

Hierro macizo SAE 4140¹¹

Esfuerzo a la fluencia: 690 Mpa

Esfuerzo máximo: 900 – 1050 MPa (130 – 152 KSI)

Elongación mínima: 12%

Densidad: 7,85 g/cm³

Diámetro del eje: 20mm = 0,02[m]

Con estos datos se calcula el esfuerzo de flexión:

$$\sigma_x = \frac{M_{\max} C}{I} \dots\dots\dots \text{Ecuación (27)}$$

$$I = \frac{\pi d_{\text{eje}}^4}{64} \dots\dots\dots \text{Ecuación (28)}$$

Dónde:

¹¹ SHIGLEY, J. MISCHKE, CH. Diseño en Ingeniería mecánica. 8va Edición MacGraw Hill. 2008.

M_{\max} = Momento flector máximo 33.75[Nm]

$d_{\text{ eje}}$ = Diámetro del eje 0.0254 [m]

C = Distancia al eje neutro. Diámetro/2 = 0.0127 [m]

I = Momento de inercia [m⁴].

Reemplazando en la ecuación (28) y (29):

$$I = 2.04 \times 10^{-8} [m^4]$$

$$\sigma_x = 20.60 \text{ Mpa}$$

El esfuerzo de flexión cambia de compresión a tensión y viceversa al momento de girar, lo que significa que hace un esfuerzo sinusoidal con inversión completa.

$$\sigma_x = \sigma_a$$

$$\sigma_m = 0$$

Con la siguiente formula se puede calcular el esfuerzo de torsión:

$$\tau_{\max} = \frac{M_T d_{\text{ eje}}}{J} \dots\dots\dots \text{Ecuación (30)}$$

$$J = \frac{\pi d_{\text{ eje}}^4}{32} \dots\dots\dots \text{Ecuación (31)}$$

Dónde:

Mt= Momento torsor, 56.04[N.m]

$d_{\text{ eje}}$ =Diámetro del eje, 25.4[mm] = 0.025[m]

J = Momento polar de inercia, m⁴

Reemplazando (30) y (31):

$$J = 3.83 \times 10^{-8} [m^4]$$

$$\tau_{\max} = 35.217 [\text{Mpa}]$$

El esfuerzo tensional es constante en el tiempo, teniendo:

$$\tau_a = 0$$

La durabilidad de un material es la capacidad de mantener su integridad estructural bajo las condiciones a las cuales es expuesto, si el número de ciclos es infinito, se asigna al nivel de cargas la deformación límite de durabilidad. (Véase Figura 3.9)

Entonces el eje se diseñara por resistencia a la durabilidad, teniendo:

$$S'_n = S_n C_s C_m C_{st} \dots \dots \dots \text{Ecuación (32)}$$

Dónde:

S'_n = Resistencia por durabilidad

S_n = Resistencia por durabilidad modificada

C_s = Factor tamaño

C_m = Factor Material

C_{st} = Factor tipo de tensión

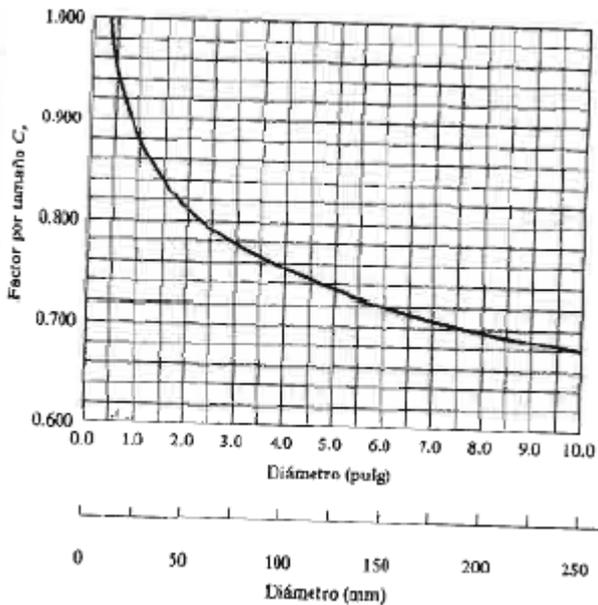


TABLA 5-2 Factores de tamaño	
Unidades del Sistema Estadounidense Tradicional	
Rango de tamaño	Para D en pulgadas
$D \leq 0.30$	$C_s = 1.0$
$0.30 < D \leq 2.0$	$C_s = (D/0.3)^{-0.11}$
$2.0 < D < 10.0$	$C_s = 0.859 - 0.02125D$
Unidades SI	
Rango de tamaño	Para D en mm
$D \leq 7.62$	$C_s = 1.0$
$7.62 < D \leq 50$	$C_s = (D/7.62)^{-0.11}$
$50 < D < 250$	$C_s = 0.859 - 0.000837D$

Figura 3.9 Durabilidad del material

Entonces tenemos:

$$C_s = 0.9$$

$$C_m = 0.8 \text{ (Acero fundido)}$$

$$C_{st} = 0.8$$

Resolviendo la ecuación (32) tenemos:

$$S'_n = 690 \text{ Mpa} * 0.9 * 0.8 * 0.80$$

$$S'_n = 397.44 \text{ [Mpa]}$$

$$n = \frac{2}{3 \sqrt{\left(\frac{2\tau_a + 2\tau_m}{S_e + S_y}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_a + \sigma_m}{S_e + S_y}\right)^2}} \dots\dots\dots \text{Ecuación (33)}$$

También se tiene para el acero SAE 4140. (Véase la Figura 3.10)

$$S_y = 690 \text{ MPa} \text{ y } S_u = 807 \text{ MPa}$$

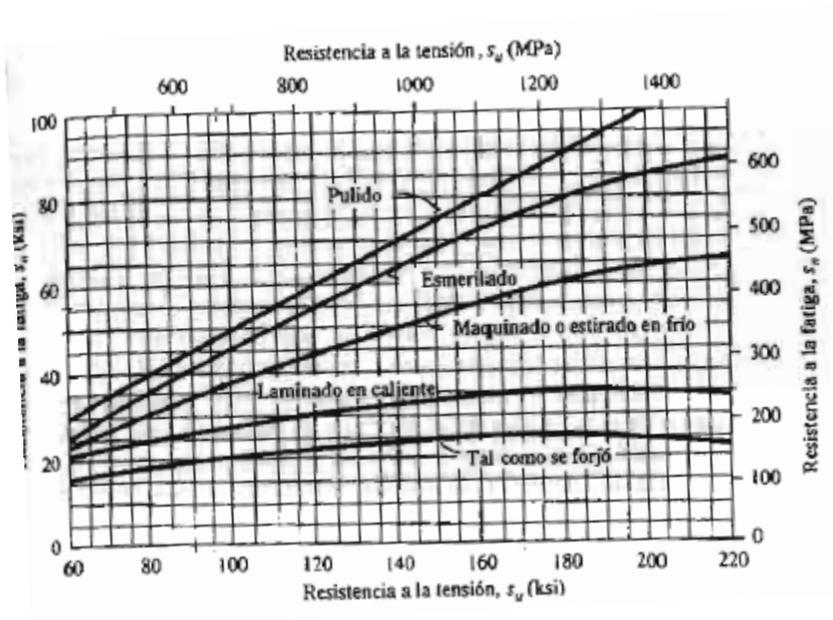


Figura 3.10 Grafico Tensión - Fatiga

$$\text{De lo que se tiene: } S_e = 300 \text{ [MPa]}$$

Reemplazando la ecuación (33) se tiene

$$n = \frac{2}{\sqrt[3]{\left(\frac{0}{300} + \frac{2 \times 38.217}{690}\right)^2 + \left(\frac{0.0344}{300} + \frac{0}{690}\right)^2}}$$

$$n = 8.67$$

Se decide construir con este eje ya que cumple con los requisitos y la maquina se encuentra sobredimensionada

3.6 Selección del Rodamiento

Para seleccionar el rodamiento se tomó en cuenta el diámetro del eje del tornillo sin fin, el peso que soportaría y su fácil acceso en el mercado. Con estos datos se eligió el rodamiento 6204ZZ, que por sus características encontradas en el manual SKF, es ideal para el trabajo al que estará sometido.(Figura 3.11).



Figura 3.11 Rodamiento 6204ZZ

Se seleccionó este rodamiento gracias a las características que presta y son las siguientes:

Resistente al polvo

Bajo costo

Fácil de encontrar en el mercado

Y con relación a las cargas que soporta, es apto para el trabajo sometido:

d=20mm (diámetro interior)

D=47mm (diámetro exterior)

B=14mm (ancho)

C=13,5kN (Carga dinámica)

C0=6,55kN (Carga estática)

Pu=0,28kN (Carga límite de fatiga)

32000rpm (velocidad de referencia)

20000rpm (velocidad límite)

kr = 0,025 (factor de carga mínima)

Estos datos fueron obtenidos del manual SKF, del rodamiento 6204ZZ.

Como los rodamientos serán sometidos a una carga radial, tenemos la siguiente fórmula para calcular la carga radial mínima:

$$Fr = Kr \left(\frac{vxn}{1000} \right)^{\frac{2}{3}} x \left(\frac{dm}{100} \right)^2 \dots\dots\dots \text{Ecuación (34)}$$

Dónde:

Fr = carga radial mínima

v = viscosidad del aceite a la temperatura de funcionamiento, mm²/s

n = velocidad de giro, rpm

dm = diámetro medio del rodamiento.

$$dm = 0.5(d + D), mm$$

$$dm = 0.5(20 + 47), mm$$

$$dm = 0.5(67), mm$$

$$dm = 33.5mm$$

Según el programa del manual SKF, para calcular la viscosidad del aceite a la temperatura de funcionamiento asumiendo que la maquina solo funcionara en cortos periodos de tiempo

no mayor a 2 minutos y los rodamientos estarán expuestos a una temperatura ambiente promedio de 14°C podemos deducir lo siguiente: (Figura 3.2)

Viscosidad requerida

Rodamiento	6204-Z
d [mm]	20
D [mm]	47
n [r/min]	<input type="text" value="40"/>
Temperatura de funcionamiento [°C]	<input type="text" value="15"/>
Temperatura de referencia para la viscosidad [°C]	<input type="text" value="40"/>
<input type="button" value="Calcular"/>	

Figura 3.12 Viscosidad del Aceite

De esto tenemos como resultado que la Viscosidad requerida a la temperatura de funcionamiento ν [mm²/s] es 338.

La velocidad de giro es $n = 40$ rpm, que es la velocidad mínima establecida en el motor de Siemens.

$$Fr = Kr \left(\frac{\nu x n}{1000} \right)^{\frac{2}{3}} x \left(\frac{dm}{100} \right)^2$$

Entonces de la ecuación (34) se obtiene lo siguiente:

$$Fr = 0.025 \left(\frac{338 x 40}{1000} \right)^{\frac{2}{3}} x \left(\frac{33.5}{100} \right)^2$$

$$Fr = 0.025 (13.52)^{\frac{2}{3}} x (0.335)^2$$

$$Fr = 0.025 x 0.66 x 0.112225$$

$$Fr = 0.0019 kN$$

Como tenemos las cargas en el rodamiento de forma radial, y se trabaja a bajas revoluciones (40rpm) el método a carga estática se elige para determinar el rodamiento.

Al estar sometido a cargas radiales, las cargas axiales son mínimas, entonces usamos la ecuación 80 del manual skf:

$$P_o = 0,6Fr + 0,5Fa \dots \dots \dots \text{Ecuación (35)}$$

Donde:

P_o = carga estática equivalente

$$P_o = 0,6(0,0019)$$

$$P_o = 0,00114 \text{ [N]}$$

Como podemos ver que $P_o \leq Fr$ entonces podemos decir que $P_o = Fr$.

Ahora determinaremos el factor de seguridad estático para este rodamiento, para lo cual usaremos la ecuación 81 del manual SKF.

S_o = factor de seguridad estático

$$S_o = \frac{C_o}{P_o} \dots \dots \dots \text{Ecuación (36)}$$

$$S_o = \frac{6,55kN}{0,0019kN}$$

$$S_o = 3447,37$$

3.6.1 Cálculo de Vida del Rodamiento

El tiempo de vida nominal del rodamiento según la normativa ISO 281:1990, se determina por la ecuación:

$$L_{10} = (C/P)^P \dots \dots \dots \text{Ecuación (36)}$$

Dónde:

L_{10} = vida nominal (con un 90 % de fiabilidad), millones de revoluciones

L_{10h} = vida nominal (con un 90 % de fiabilidad), horas de funcionamiento

C = capacidad de carga dinámica, kN

P = carga dinámica equivalente del rodamiento, kN

n = velocidad de giro, rpm

p = exponente de la ecuación de la vida

Reemplazando en la ecuación (36):

$$L_{10} \Rightarrow 1000000$$

$$L_{10h} = 10^6 / (60n)L_{10}$$

$$L_{10h} \Rightarrow 1000000$$

En los valores recomendados para el factor de seguridad dado por el manual SKF, a los cuales nos indica que para rodamientos con requerimientos de funcionamiento alto se le da un valor de 2, como podemos apreciar el So es extremadamente alto con relación al factor recomendado, por lo cual el rodamiento seleccionado es demasiado apropiado para esta funcionalidad, a esto le agregamos el fácil acceso en el mercado y su precio, lo hace muy viable.

3.7 Cálculo de Piñones y Cadena

El piñón seleccionado es uno de 16 dientes, tanto para el lado de transmisión como recepción.

El piñón es la serie NK 60 ANSI y está hecho del acero SAE 1040.



Figura 3.13 Piñón serie NK 60

Este es un piñón común para bicicleta, su función es conectar mediante la cadena al tornillo sin fin y al motor.

Para seleccionar los piñones y cadenas se considera:

La velocidad angular de salida del motor de 40[rpm]

La potencia de salida del motor es de 0,1[hp]

Distancia entre centros aproximados 12[pulg] (30,5cm)

Nb. of Teeth	Pitch Dia. (P.C.D)	Outside Dia. (OD)	SINGLE B TYPE				Approx. Weight (kg)	Materials
			Bore (OD)		Hub			
			Stock	Max	HD	HL		
9	2.193	2.51	0.47	0.98	*1.693	1.260	0.40	SAE1040
10	2.427	2.76	0.59	1.18	*1.929	1.260	0.49	
11	2.662	3.01	0.59	1.26	*2.008	1.260	0.60	
12	2.898	3.25	0.59	1.26	2.008	1.260	0.69	
13	3.134	3.49	0.59	1.38	2.244	1.260	0.81	
14	3.371	3.74	0.67	1.57	2.241	1.260	0.96	
15	3.607	3.98	0.67	1.77	2.677	1.260	1.10	
16	3.844	4.22	0.67	1.89	2.874	1.260	1.30	
17	4.082	4.46	0.67	1.89	2.874	1.260	1.40	
18	4.319	4.70	0.67	2.17	3.268	1.575	2.00	
19	4.557	4.95	0.67	2.17	3.268	1.575	2.10	
20	4.794	5.19	0.67	2.17	3.268	1.575	2.20	
21	5.032	5.43	0.67	2.17	3.268	1.575	2.30	
22	5.270	5.67	0.67	2.17	3.268	1.575	2.50	
23	5.507	5.91	0.67	2.17	3.268	1.575	2.50	
24	5.746	6.15	0.67	2.17	3.268	1.575	2.60	
25	5.984	6.39	0.67	2.17	3.268	1.575	2.70	
26	6.222	6.63	0.67	2.17	3.268	1.575	2.90	
27	6.460	6.85	0.83	2.17	3.268	1.575	3.00	
28	6.698	7.11	0.83	2.17	3.268	1.575	3.10	
29	6.937	7.32	0.83	2.17	3.268	1.575	3.30	
30	7.175	7.59	0.83	2.17	3.268	1.575	3.40	

Tabla 3.1 Ficha técnica de piñones

La cadena a emplearse es una estándar de rodillo 35 y paso 3/8 [pulg].

Cadena		Paso		Ancho entre placas interiores		Diámetros del rodillo		Diámetros del perno		Longitud del perno		Paso transversal		Carga de ruptura		Peso	
ANSI Nº.	DIN ISO Nr.	P		W max		R max		D max		L max		C		min	min		
		in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	Lg	Kg	Lb/ft	Kg/m
25		1/4	6.35	0.125	3.18	0.130	3.30	0.091	2.31	0.339	8.60			900	450	0.09	0.14
→ 35		3/8	9.525	0.188	4.78	0.200	5.08	0.141	3.59	0.510	12.95			2420	1100	0.22	0.33
40	08A	1/2	12.70	0.313	7.95	0.312	7.92	0.156	3.97	0.691	17.45			4290	1950	0.41	0.62
41	085	1/2	12.70	0.251	6.38	0.308	7.77	0.141	3.59	0.567	14.40			2640	1200	0.27	0.41
50	10A	5/8	15.875	0.375	9.53	0.400	10.16	0.200	5.09	0.858	21.75			7040	3200	0.71	1.08
60	12A	3/4	19.05	0.500	12.70	0.469	11.91	0.234	5.96	0.959	26.90			9680	4400	1.01	1.50
80	16A	1	25.40	0.625	15.88	0.625	15.87	0.312	7.94	1.390	35.30			16500	7500	1.68	2.50
100	20A	1 1/4	31.75	0.750	19.05	0.750	19.05	0.375	9.54	1.899	43.15			25300	11500	2.55	3.80
120	24A	1 1/2	38.40	1.000	25.40	0.875	22.22	0.437	11.11	2.122	53.90			35200	16000	3.78	5.60
140	28A	1 3/4	44.45	1.000	25.40	1	25.40	0.500	12.71	2.303	58.50			45100	20500	5.10	7.60
160	32A	2	50.80	1.250	31.75	1.125	28.57	0.582	14.29	2.742	69.85			59400	27000	6.38	9.50
200	40A	2 1/2	63.50	1.250	38.10	1.562	39.67	0.781	19.85	3.398	86.30			99000	45000	11.02	16.40

Tabla 3.2 Ficha técnica de cadenas

La longitud de la cadena se la calcula así:

$$L_c = \frac{N_1 + N_2}{2} + \frac{2C}{P} + \frac{P(N_2 - N_1)}{C} \dots \dots \dots \text{Ecuación (37)}$$

Dónde:

LC: Longitud de la cadena [pulg]

N1: Número de dientes del piñón conductor 16 [dientes]

N2: Número de dientes del piñón conducido 16 [dientes]

P: Paso de la cadena 3/8 [pulg]

C: Distancia entre centros 12 [pulg]

Pero dado que los dos piñones son de las mismas dimensiones, se anularía, entonces la longitud de la cadena quedaría:

$$L_c = C + D$$

Dónde:

D = diámetro externo del piñón

$$Lc = 17.5$$

3.8 Fuerzas Producidas por la Catalina

La catalina es la encargada de transmitir la fuerza desde el motor hasta el tornillo sin fin, al haber seleccionado el piñón, tomaremos la relación de fuerza de forma lineal, es decir que el piñón será el mismo en el tornillo sin fin así como en el motor haciendo de transmisor y receptor de movimiento teniendo la misma fuerza tanto en la salida como en la llegada.

Como se muestra en el diagrama de cuerpo libre de los piñones, la cadena tiene un lado tensionado y produce un par torsional en cada piñón.

El otro lado de la cadena no ejerce fuerzas sobre los piñones, por lo tanto, la fuerza flexionante total sobre el eje que sostiene el piñón es igual a la tensión del lado tenso de la cadena. (Véase Figura 3.16)

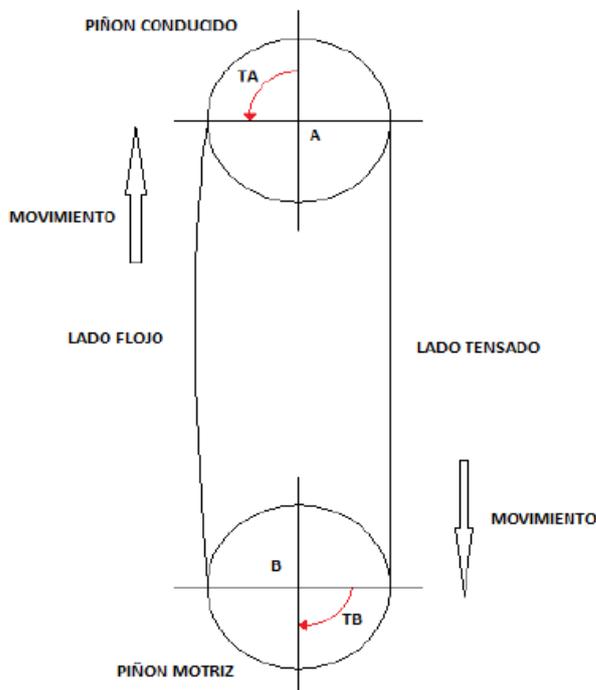


Figura 3.16 Esquema de giro de cadena

Conociendo la potencia del motor

$$P = 0,13\text{kW}$$

T_B = Par torsional que ejerce sobre el eje del piñón B.

$$TB = \frac{P}{W} \dots\dots\dots \text{Ecuación (38)}$$

$$TB = \frac{31.05[Nm]}{40 \times 2 \times \pi}$$

$$TB = \frac{31.05[Nm]}{40 \times 2 \times \pi}$$

$$TB = 0.124[Nm]$$

El eje, la cadena, los piñones, soportan la tensión TB que es la misma en TA por ser simétricamente iguales, por lo tanto la maquina en todos sus componentes está sobredimensionada por lo que si cumple con el factor de seguridad y tiene capacidad de ampliación.

3.9 Electrodo Usados

3.9.1 Electrodo 6011

Es un electrodo para aceros de bajo carbón, tiene un potente arco y de gran penetración lo que lo hace adecuado para producir soldaduras de buena calidad en cualquier posición, el arco se enciende fácilmente y es muy estable, se puede obtener soldaduras limpias, de alta resistencia y elevada ductibilidad. Este tipo de electrodo se emplea para soldar placas, perfiles y piezas de acero dulce, se puede soldar tanques, calderas, maquinarias, recipientes sometidos a presión, etc.; las características de este electrodo son las siguientes:

RESISTENCIA TENSIL	LIMITE ELASTICO	ELONGACION
71000 LB/Pu2	60450 LB/Pu2	25%

Tabla 3.16 Características del Electrodo 6011

3.9.2 Electrodo UTP 65

Estos electrodos son usados para soldadoras con aceros de alta aleación o que sean difícilmente soldables, en la maquina se usará para soldar el acero inoxidable de las astas del tornillo sin fin y las piezas que unen al motor con el piñón. (Tabla 3.18)

RESISTENCIA TENSIL	LIMITE ELASTICO	ELONGACION
800 N/mm ²	640 N/mm ²	20%

Tabla 3.17 Características del Electrodo UTP 65

3.10 Elementos y Herramientas para la Construcción de la Máquina

3.10.1 Materiales

Los materiales usados para la construcción de la máquina son:

6 metros de tubo redondo de 3"x2mm negro

planchas de Tol Galvanizado de 2mm

6 piñones de 16 dientes

1m de hierro macizo redondo de 20mm

6 rodamientos de 6204ZZ (según normas SKF)

Una tira de acero inoxidable de 7mm de 20x50

docenas de pernos de 1/2" x 1/4 "

Una docena de pernos de 1/4 "

Rodelas de presión redondas

8 libras de electrodo 6011 (Para realizar la soldadura de las tolvas)

2 electrodos UTP 65 (Para soldar los piñones con los motores)

frascos de pintura esmalte color negro

3.10.2 Herramientas

Las herramientas necesarias para la construcción de la máquina son:

Taladros

Moladora

Playos de presión

Una prensa

Un combo

Un martillo

Llaves de tubo

Discos de corte

Disco de limar

Soldadora eléctrica

Una cierra

Brocas

Un flexómetro

Una escuadra

Tijera de tol

Prensa C

Pata de Cabra

Limatón

3.10.3 Elementos de Seguridad

Los elementos de seguridad necesarios para la construcción de la maquina son:

Orejeras

Guantes

Gafas para protección al momento de soldar o cortar

Máscaras para soldar

3.11 Diseño Preliminar

Para el diseño de las piezas se utilizó el software Autodesk Inventor 2014. El funcionamiento de la maquina consiste en colocar dos diferentes tipos de alimento, uno en cada contenedor. Cada contenedor tiene la capacidad de soportar 50 kg de alimento.

Según la programación del PLC, se accionarán los motores, los cuales harán girar al tornillo sin fin que se encuentran dentro de las cajas mencionadas anteriormente, uno para cada contenedor, este al girar, hará caer raciones de comida de cada contenedor, la misma que por gravedad caerá en los ductos unidos en forma de Y llegando así hasta el otro tornillo sin fin, el cual al girar mezclara el alimento y luego al expulsarlo por el otro extremo, tendremos ya el alimento mezclado.

Estos ciclos se accionaran en 3 diferentes periodos y el funcionamiento de la maquina en cada periodo será menor que los 2 minutos.

Una vez diseñada cada una de las piezas de la máquina, se procede a realizar la construcción.

Se necesitan las dos tolvas, 2 tornillos sin fin y uno modificado para realizar la mezcla, las cámaras donde se asentarán los tornillos sin fin, 4 soportes para colocarlos en cada esquina de la máquina, el canal de distribución, 3 motores.

3.12 Vista isométrica de la Máquina

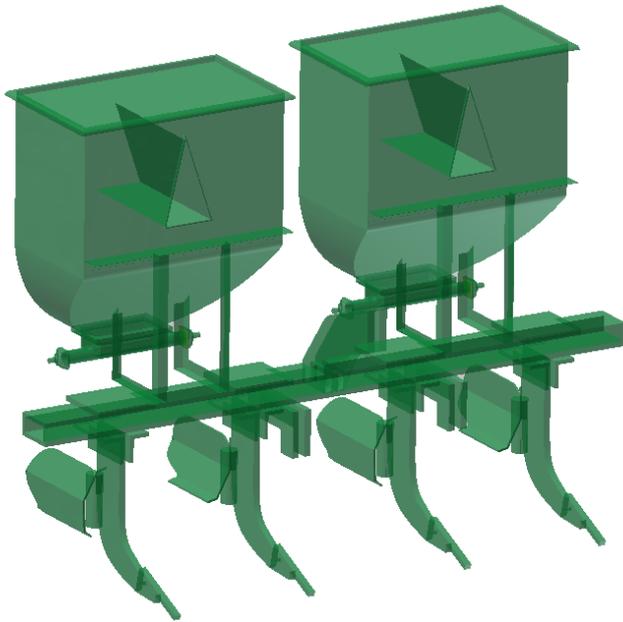


Figura 3.19 Vista Isométrica de la maquina abonadora

Como se puede apreciar en la figura 2.19 así se verá la maquina exteriormente de esta forma se puede entender de una mejor manera el funcionamiento de la misma.

3.13 Proceso de Abonado

El fertilizante que será urea irá en cada de uno de las tolvas y reguladas en su peso necesario para la cantidad de terreno requerida a abonar

3.13.1 Abonado de tierras

Al pasar por la tierra los aradores irán surcando la tierra y al mismo tiempo la urea ira cayendo por el camino dejando a la acequiadora que haga su trabajo. El tiempo requerido para abonar ira de acuerdo a la distancia entre la siembra de planta y planta de caña de azúcar.

3.14 Ingeniería de Control

En este capítulo se diseñara el control del sistema y se analizará cada uno de los componentes que se integraron para su construcción.

Estos componentes forman el hardware del equipo y cumplen con los requerimientos para desarrollar el “Diseño de una máquina abonadora para distribuir fertilizante inorgánico en terrenos de cultivo de bajo costo”

3.15 Diagrama de bloques del Sistema

El sistema que se ha desarrollado consiste en el proceso de transporte y dosificación de abono de plantas en este caso caña de azúcar. El abono se encuentra en su respectiva tolva para luego proceder a encender el tractor y ser remolcada la máquina.

Este ciclo debe ir acorde a que el abonamiento de la plantilla puede fraccionarse en 2 ó en 3 aplicaciones. La primera se hace al momento de la siembra, aplicando la totalidad de la dosis del fósforo y una parte de la del nitrógeno. Si se divide en solo en 2 partes, la segunda y última porción se aplicará entre los 2 y 3 meses, aproximadamente con el octavo riego según el programa de labores propuesto. En esta oportunidad iría la totalidad del potasio y el remanente del nitrógeno. Si la distribución es en 3 partes, entre 1.5 y 2 meses se aplicaría la segunda porción: la mitad del potasio y la mitad de lo que resta del nitrógeno. La tercera y última aplicación se haría entre los 3 y 3.5 meses.

Esto quiere decir que la caña de azúcar necesita 3 abonados por siembra.

Además dependiendo de los requerimientos del propietario, se puede cambiar la fórmula de 2/2 hectáreas por abonar solamente con cambiar el número de dosificación y arado de del abono.

La dosificación se realiza por tiempos en el giro del motor

En el caso de ausencia de suministro eléctrico de la red comercial, la maquina contará con una batería de respaldo para poder accionar los motores y mantener el PLC programado correctamente.

El sistema se muestra a continuación en el diagrama de bloques siguiente:

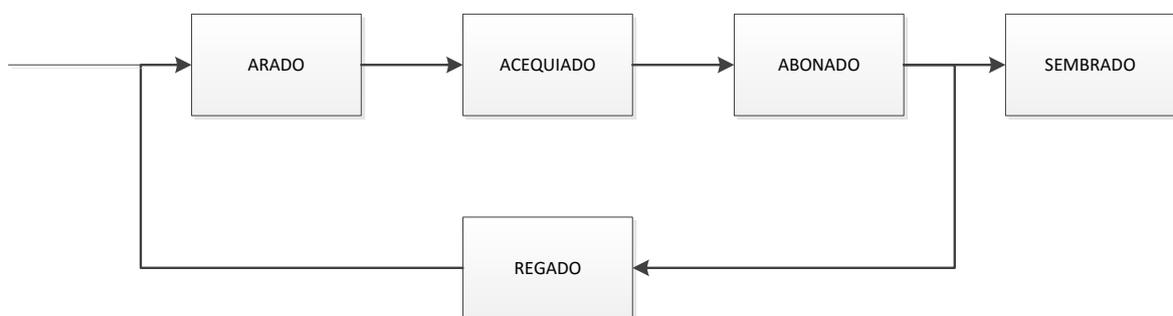


Figura 3.20 Diagrama de Bloques

3.16 Descripción del Software Utilizado

El software STEP7 TIA PORTAL optimiza todos sus procedimientos de procesamiento, operación de máquinas y planificación. Con su intuitiva interfaz de usuario, la sencillez de sus funciones y la completa transparencia de datos es increíblemente fácil de utilizar. Los datos y proyectos preexistentes pueden integrarse sin ningún esfuerzo, lo cual asegura su inversión a largo plazo.

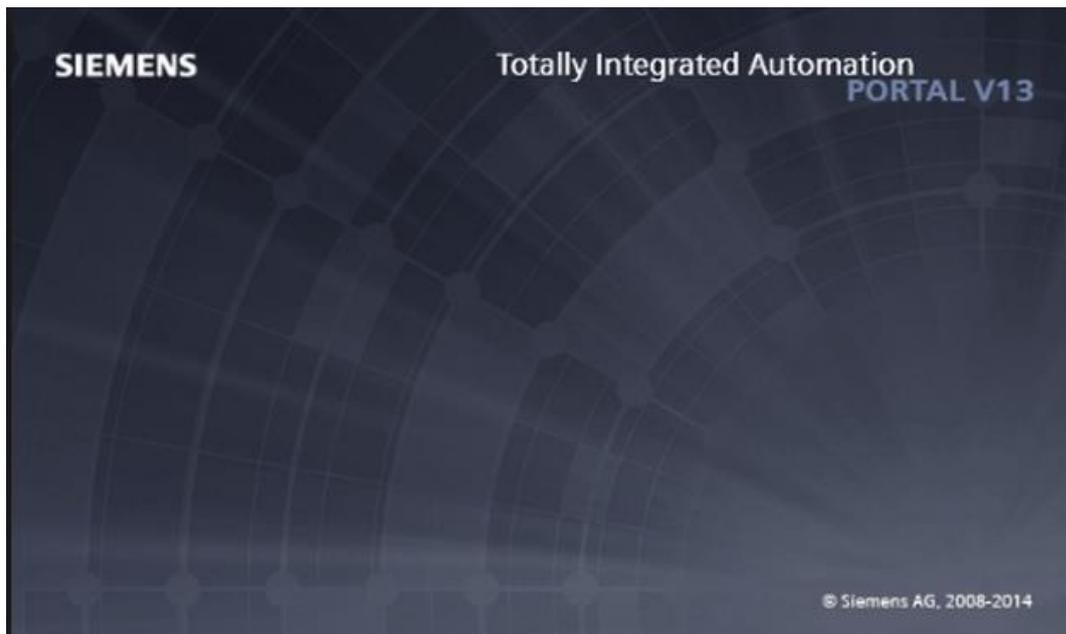


Figura 3.21 Pantalla de Inicio TIA PORTAL

Características:

Creación gráfica de su programa offline como diagrama de escalones (esquema de contacto / esquema de corriente) o como diagrama de bloque de funciones (esquema de funciones)

Simulación del programa en el ordenador

Generación e impresión de un esquema general del programa

Almacenamiento de datos del programa en el disco duro o en otro soporte

Comparación de programas

Parametrización cómoda de los bloques

Transferencia del programa

Lectura del contador de horas de funcionamiento

Ajuste de la hora

Ajuste del horario de verano e invierno

Prueba online

Interrupción del procesamiento del programa desde el PC (STOP).

3.17 Descripción de los Elementos Utilizados

3.17.1 PLC

El controlador lógico programable (PLC) S7-1200 otorga la flexibilidad y capacidad de controlar una gran variedad y cantidad de dispositivos para las distintas tareas de automatización dentro de un proceso en alguna empresa. Gracias a su diseño compacto, configuración flexible y amplio juego de instrucciones, el S7-1200 es idóneo para controlar una gran variedad de aplicaciones.

Un PLC trabaja en base a la información recibida por los captadores y el programa lógico interno, actuando sobre los accionadores de la instalación.

3.17.1.1 Características Generales

Entradas analógicas integradas

Alta capacidad de procesamiento. Cálculo de 64 bits

Bloques de función para control de ejes conforme a PLCopen.

Programación mediante la herramienta de software STEP 7 Basic v13 para la configuración y programación no sólo del S7-1200, sino de manera integrada los paneles de la gama Simatic Basic Panels.

Interfaz Ethernet / PROFINET integrado

3.17.1.2 Características Técnicas

Designación: SIMATIC S7-1200

Alimentación: 20.4 → 28.8 V dc

Entradas: 14 (Digital)

Salidas: 10 (Digital)

3.17.1.3 Funciones Básicas de un PLC

55 Fuente:

Detección: Lectura de la señal de los captadores distribuidos por el sistema de fabricación.

Mando: Elaborar y enviar las acciones al sistema mediante los accionadores y preaccionadores.

Dialogo hombre maquina: Mantener un diálogo con los operarios de producción, obedeciendo sus consignas e informando del estado del proceso.

Programación: Para elaborar y cambiar el programa de aplicación del autómeta. El dialogo de programación debe permitir modificar el programa incluso con el autómeta

controlando la máquina.

Ventajas

Menor tiempo empleado en la elaboración de proyectos debido a que:

No es necesario dibujar el esquema de contactos

No es necesario simplificar las ecuaciones lógicas, ya que, por lo general la capacidad de almacenamiento del módulo de memoria es lo suficientemente grande.

La lista de materiales queda sensiblemente reducida, y al elaborar el presupuesto correspondiente eliminaremos parte del problema que supone el contar con diferentes proveedores, distintos plazos de entrega.

Posibilidad de introducir modificaciones sin cambiar el cableado ni añadir aparatos.

Mínimo espacio de ocupación.

Menor coste de mano de obra de la instalación.

Economía de mantenimiento. Además de aumentar la fiabilidad del sistema, al eliminar contactos móviles, los mismos autómatas pueden indicar y detectar averías.

Posibilidad de gobernar varias máquinas con un mismo autómata.

Si por alguna razón la máquina queda fuera de servicio, el autómata sigue siendo útil para otra máquina o sistema de producción

Menor tiempo para la puesta en funcionamiento del proceso al quedar reducido el tiempo cableado. (Figura 3.22)



Figura 3.22 PLC Siemens S7-1200

3.17.2 Cable Ethernet

Cable USB para conectar una PC a un controlador PLC Siemens S7-1200 para descargar y cargar los programas escritos con un TIA PORTAL.



Figura 3.23 Cable Ethernet para comunicación PLC

3.17.3 Motor Eléctrico

Para esto se eligió el motor marca siemens (Véase Figura 3.24)

Características:

Potencia: 2 Hp

RPM: 1800

Voltaje: 208-230/460

Corriente Nominal: 2,8

Eficiencia Nominal %: 86,5

Peso: 30 Kg

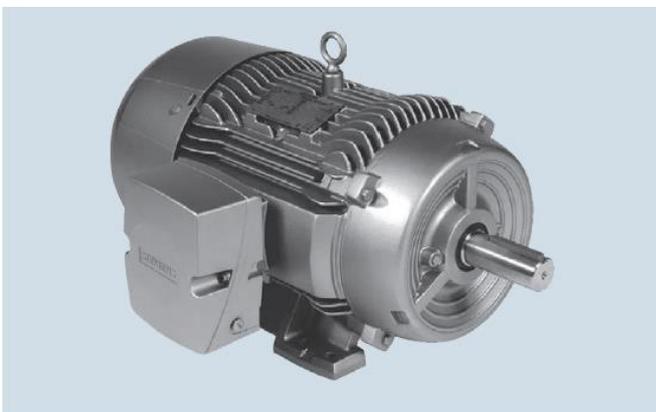


Figura 3.24 Motor Eléctrico SIEMENS

3.17.4 Fuente de Poder/Cargador Enforcer ST-2406-5A



Figura 3.24 Cargador Enforcer ST-2406-5A

Interruptor selectivo salida voltaje CC.

Salida de voltaje filtrada y regulada.

Protección contra corto circuito.

Protección térmica y compensación.

Cargador de batería de respaldo integrada.

Switches automáticamente se activan en la batería de respaldo cuando se pierde el poder.

Protegida con un fusible para la carga de la batería.

LED's para indicar entrada de poder CA y salida de poder CC.

Polaridad reversible protegida.

Puede operar a baja temperatura.

Diseño compacto.

Modelo #	C.C. Voltaje	Corriente (continua)	Corriente (max)	Tamaño
ST-1206-1.5AQ	6, 12	1.5A	2.0A	2 ⁷ / ₈ "x2 ¹ / ₄ "x1" (73x57x25 mm)
ST-2406-2AQ	6, 12, 24	1.5A	2.0A	2 ⁷ / ₈ "x2 ¹ / ₂ "x1 ³ / ₈ " (73x64x35 mm)
ST-2406-3AQ	6, 12, 24	2.5A	3.0A	3 ³ / ₈ "x2 ⁷ / ₈ "x1 ⁵ / ₁₆ " (81x73x33 mm)
ST-2406-5AQ	6, 12, 24	4.0A	5.0A	3 ³ / ₄ "x2 ⁷ / ₈ "x1 ⁹ / ₁₆ " (95x73x40 mm)
ST-2406-7AQ	6, 12, 24	7.0A	7.5A	5 ¹ / ₂ "x5 ¹ / ₈ "x2 ¹ / ₈ " (140x130x55 mm)
ST-2406-10AQ	6, 12, 24	10.0A	10.0A	5 ¹ / ₂ "x5 ¹ / ₈ "x2" (140x130x51 mm)

Tabla de selección de transformador:

Voltaje de Salida	ST-2406-2AQ	ST-2406-3AQ	ST-2406-5AQ	ST-2406-7AQ	ST-2406-10AQ
6VCC	12VCA/20VA	ST-UV24-W50Q 24VCA/50VA	ST-UV16-W100Q 16VCA/100VA	ST-UVDA-W180Q 24-28VCA/180VA	ST-UVDA-W180Q 24-28VCA/180VA
12VCC	16VCA/40VA	ST-UVDA-W100Q 24-28VCA/100VA	ST-UV16-W100Q 16VCA/100VA	ST-UVDA-W180Q 24-28VCA/180VA	ST-UVDA-W180Q 24-28VCA/180VA
24VCC	ST-UV24-W50Q 24VCA/50VA	ST-UVDA-W100Q 24-28VCA/100VA	ST-UVDA-W180Q 24-28VCA/180VA	24-28VCA/210VA	ST-UV28-T35Q 28VCA/350VA

Figura 3.26 Características Enforcer ST-2406-5^a

3.17.5 Batería 12V 7AH

Esta batería es la que se encargara de mantener el sistema funcionando en el caso de que existiera un corte de suministro eléctrico.



Figura 3.27 Batería 12V

Batería de 12 Voltios 7 Amp.

Medidas: Alto: 9,5 cm, Ancho: 15,1 cm.

Profundidad: 6,5 cm. Peso: 2.662 g.

Recargable.

3.17.6 Pulsador ON/OFF

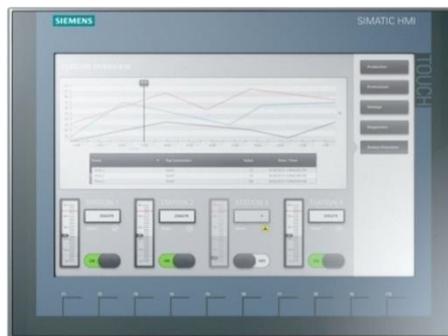
Pulsador empotrable OFF-ON. Potencia 2A/250V, terminales en latón, posiciones OFF-ON (circuito abierto en reposo), contactos de plata, termoplástico auto extinguido UL94-V0, Diámetro exterior 20mm, taladro montaje 18mm.



Figura 3.28 Pulsador ON/OFF

3.17.7 HMI SIEMENS KTP1200 Basic DP

Los paneles SIMATIC HMI llevan muchos años dando buenos resultados en las más diversas aplicaciones en todos los sectores. No solo destacan por su innovador diseño y su elevado rendimiento. Totalmente nueva es la configuración con SIMATIC WinCC desde el TIA Portal, que permite a los usuarios beneficiarse de una eficiencia energética desconocida hasta el momento.



SIEMENS
SIEMENS

HMI

Figura 3.29 Panel
3.17.8 Sensor de Nivel
SITRANS LU01

SITRANS LU01 es una unidad de evaluación ultrasónica para medir el nivel de llenado de líquidos y sólidos granulados en recipientes individuales de hasta 60 m y los módulos destinados a buses industriales convencionales como PROFIBUS DP y DeviceNet se pueden instalar de fábrica, o bien posteriormente para satisfacer las cambiantes exigencias. Como no se precisa pasarela, los costes de cableado se reducen. (Figura 3.30).



Figura 3.30 Sensor de Nivel SIEMENS

3.17.8.1 Ventajas

Medición mono canal del nivel de llenado en grandes rangos de medida

Fácil de instalar y programar mediante el teclado de infrarrojos extraíble (opcional)

Pantalla LCD retro iluminada que visualiza los valores medidos en el sistema de unidades estándar

Conversión automática del nivel de llenado a volumen para recipientes de formato estándar o específicos del cliente

Alarma máx./mín.

3.17.9 Compresora

Compresor lubricado con aceite, ultra silencioso (45 dB (A)). Ideal para su utilización en aulas. Con manorreductor y condensador de agua. (Figura 3.31).

Presión: máx. 800 kPa (8 bar)

Capacidad de aspiración: 50 l/min

Volumen del depósito: 24 l

Salida de aire comprimido: ¼" o KD4

Emisión acústica: 45 dB (A)/1 m

Tiempo de utilización: máx 50 %

Regulador de presión con manómetro



Figura 3.31 Compresora SIEMENS

3.17.10 Cilindro de Cartucho EGZ (Figura 3.32)

3.17.10.1 Características

Aplicación versátil para la manipulación

Montaje en espacios reducidos

Posición final de carrera modificable

Cilindro roscado EGZ en el catálogo

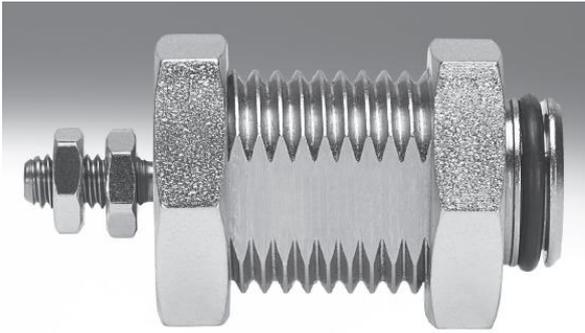


Figura 3.32 Cilindro de cartucho

3.17.11 Sensor de Velocidad SITRANS WS300

El sensor de velocidad de baja hasta alta resolución emite una señal de frecuencia proporcional a la velocidad de giro del eje de accionamiento. Así se pueden medir fiablemente diferentes velocidades. El generador de impulsos genera impulsos rectangulares que evitan alteraciones de la señal de velocidad debidos a la influencia de vibraciones u oscilaciones del eje. El WS300 es de fácil montaje y mide el sentido de transporte tanto en sentido horario como antihorario.



Figura 3.33 Sensor de velocidad SITRANS

3.18 Programación del PLC

Para crear el programa en el PLC S7 – 1200 de Siemens y transferirlo al PLC, se tienen dos métodos de programación y son:

Bloques de función

Ladder

Un bloque de función contiene un programa que se ejecuta siempre cuando el bloque de función es llamado por otro bloque lógico. Los bloques de función simplifican la programación de funciones completas de uso frecuente.

3.19 Proceso para crear un programa

Primer paso entrar al IA PORTAL y crear un nuevo proyecto

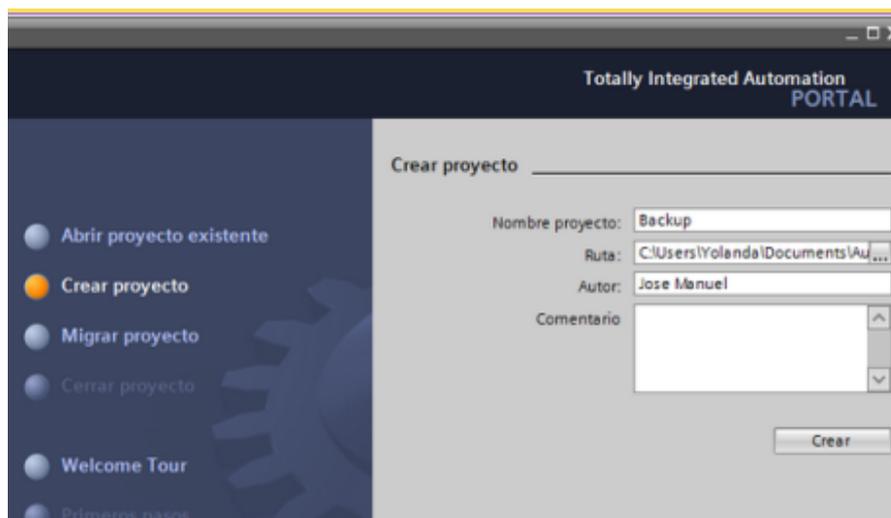


Figura 3.34 Plataforma TIA portal

Seleccionar los bloques

Posicionar los bloques

Parametrizar y comentar los bloques

Conectar los bloques de acuerdo a la lógica del sistema

Optimizar el programa

Guardar el programa.

3.20 Diagrama de Flujo del sistema de control

El diagrama de flujo del sistema de control permite realizar con mayor facilidad la programación en el PLC de forma precisa cada proceso para el sistema de abonado de la maquina abonadora.(Figura 3.35)

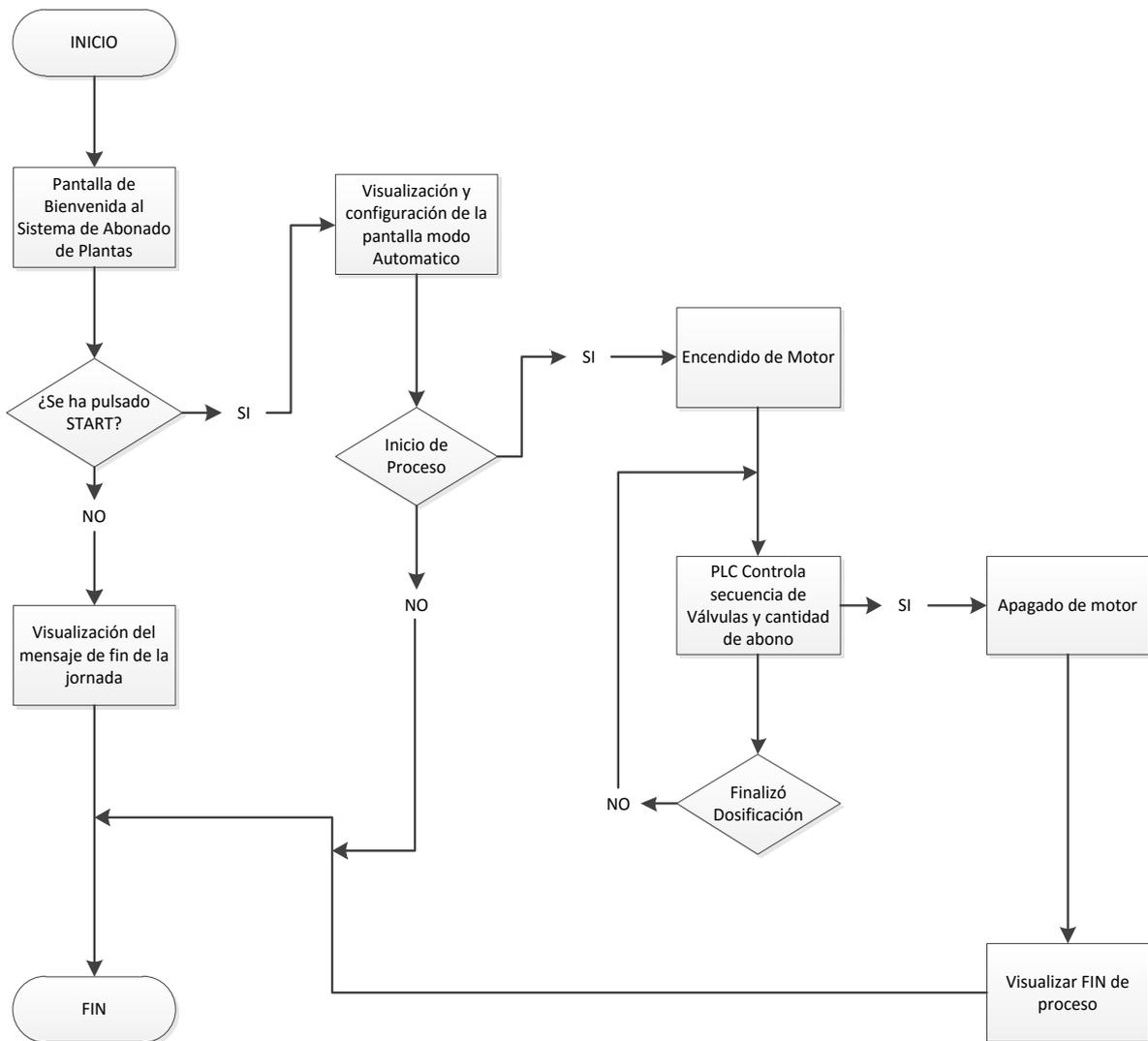


Figura 3.35 Diagrama de Flujo del sistema

3.21 Diseño del Programa

Para el diseño del programa se divide el sistema en las siguientes partes para el mejor desarrollo del mismo.

3.21.1 Inicio

El sistema tendrá parte manual y parte automática. El inicio es automático cuando se empiece a correr el programa del PLC con el panel de mando HMI una vez que el sistema y los circuitos sean energizados.

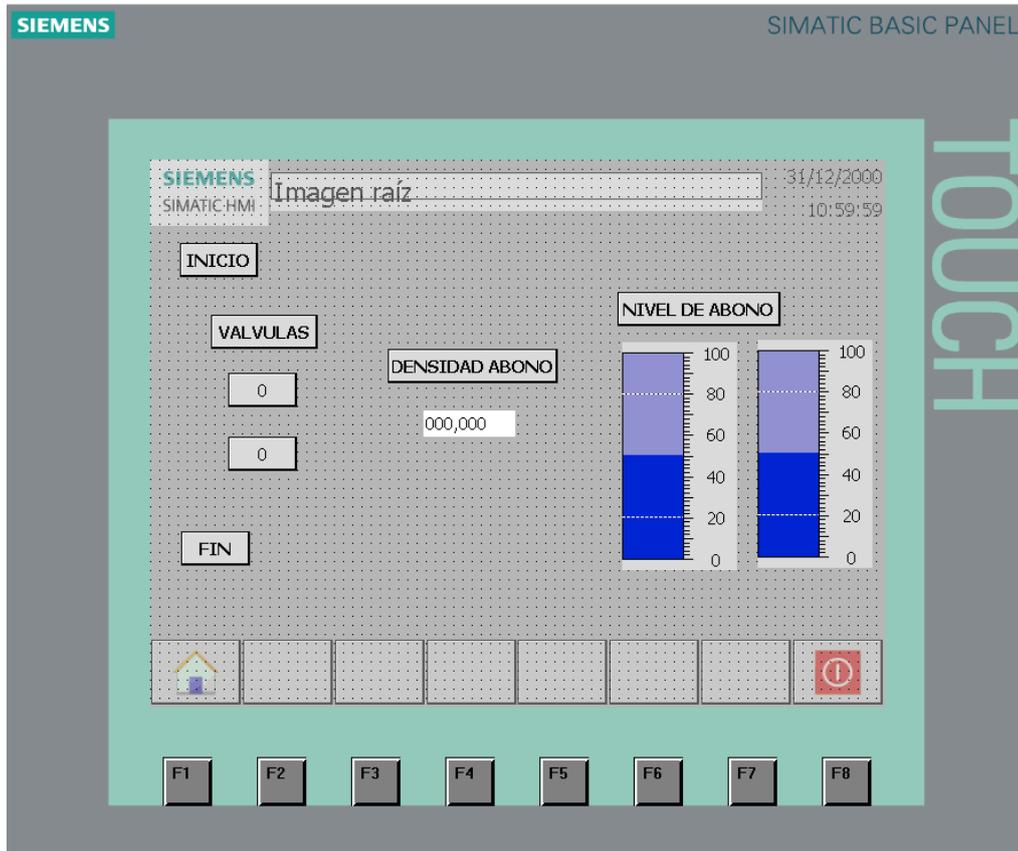


Figura 3.36 Pantalla de inicio del Sistema

Cuando iniciemos el programa en la pantalla del HMI aparece la fecha y hora del día, esto nos servirá para el día y la hora del trabajo de abonado.

Todos los datos estarán en cero ya que la sistema se encuentra en reposo, cuando estamos trabajando con la maquina si uno de los parámetros esta fuera del debido, entonces con un LED indicara un mensaje de alerta, en este caso dirá, “ATENCIÓN REVISAR MAQUINA”, caso contrario el menú de configuración aparecerá, y el sistema arrancará dependiendo de la calibración dada.

3.22.2 Encendido del Motor

El motor arrancará siempre y cuando todos los datos estén en cero, tal como el programa PLC lo indicara, y funcionara en el periodo de tiempo que se tome fertilizar todo el campo, mientras esto ocurra se podrá realizar las pruebas de funcionamiento el motor podrá ser desactivado de manera manual.

3.22.3 Contabilizar el Tiempo de las Válvulas

Para contabilizar de manera correcta los tiempos de las válvulas se utilizará un PWM para que actúen tanto en tiempos de cierre y apertura de las válvulas de cada tolva. (Figura 3.37).

Cabe indicar que cada válvula tiene su configuración por separado para evitar problemas con el lenguaje de programación.

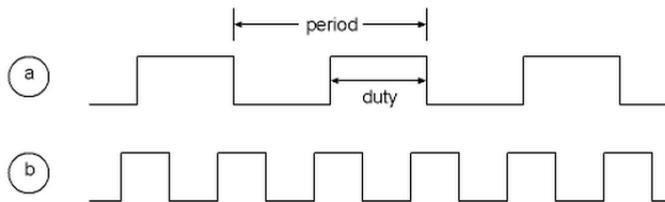


Figura 3.37 Esquema de un PWM

3.22.4 Finalización del Abonado

La máquina y el tractor luego de haber terminado con el recorrido del terreno el motor se apagará junto de manera manual cuando el tractor se detenga, todos estos datos se tendrán cuando la máquina este en periodo de pruebas, aquí la máquina tendrá que ser calibrada para un mínimo de 2 hectáreas o más dependiendo de la envergadura de los campos de sembrío.

3.23 Visualización del Diseño del Sistema

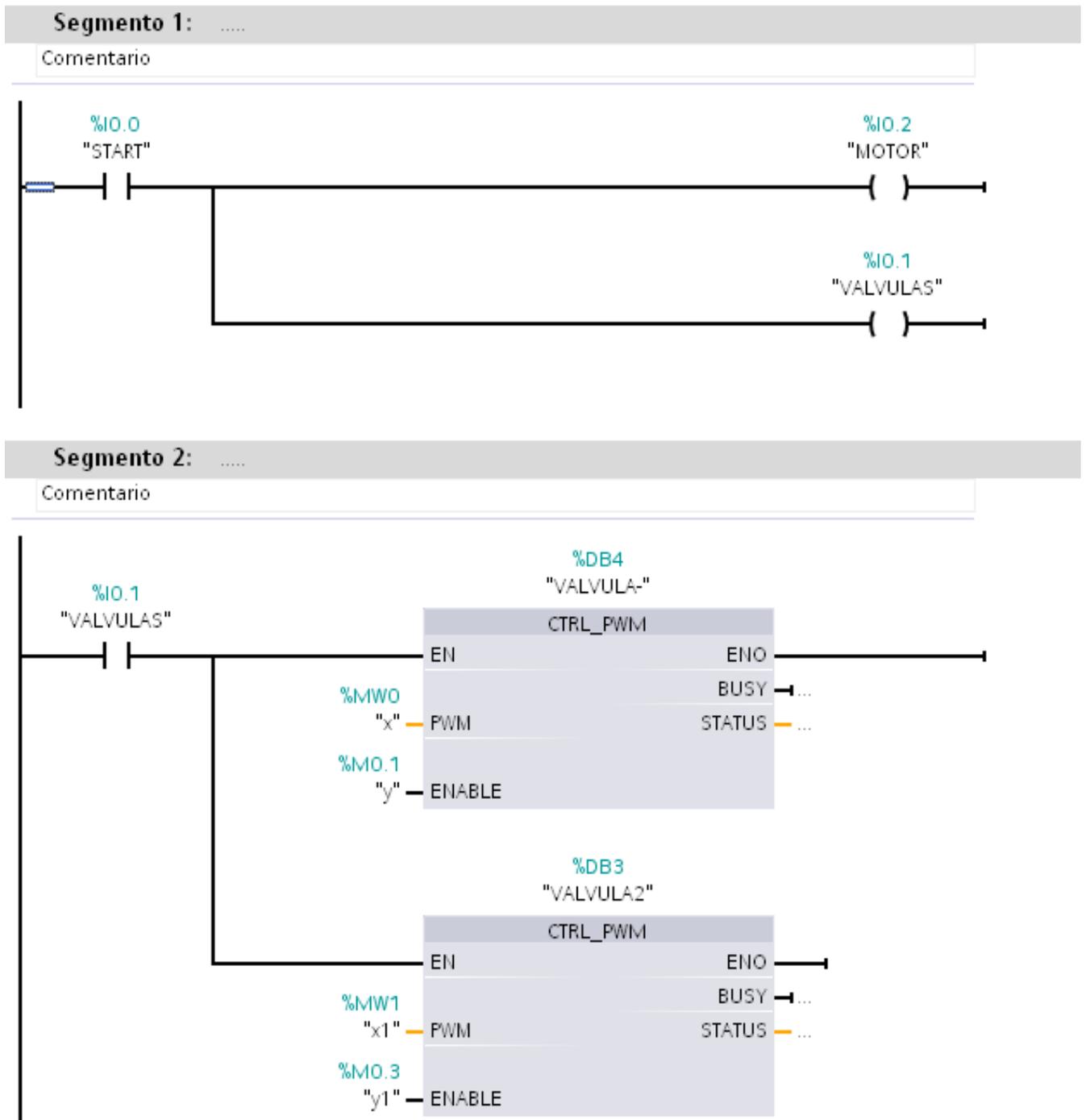


Figura 3.38 Programa de control del sistema

3.24 Diagrama de conexión del Sistema

Una vez indicada las características técnicas de los elementos que se utilizan en este proyecto, indicaremos como se realiza la conexión entre cada uno de ellos.

3.24.1 Diagrama de conexión del Sistema de Control

3.24.1.1 Distribución de Entradas y Salidas del PLC. (Figura 3.39)

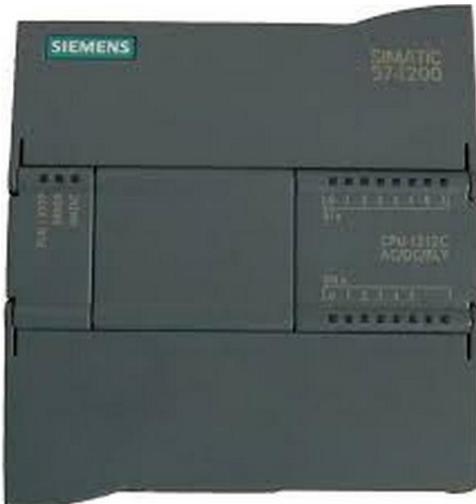


Figura 3.39 PLC S7-1200

Energizamos el sistema normalmente a las entradas L1 y N, pero en L1 colocamos el pulsador on/off para encendido y apagado general de la maquina

La salida O.01 corresponde al motor de la maquina

La salida O.02 corresponde a la válvula #1

La salida O.03 corresponde a la válvula #2

La salida O.04 será la encargada de darnos un mensaje cuando la maquina este con problemas.

3.24.1.2 Conexión del PLC

En esta figura se muestra el diagrama de conexión del PLC.

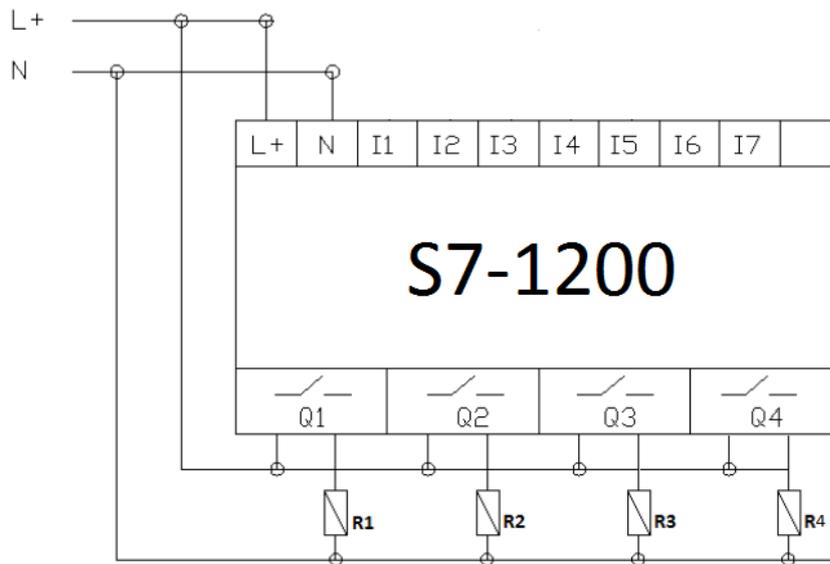


Figura 3.40 Diagrama de conexión PLC

3.24.1.3 Conexión de la Fuente de Poder Enforcer

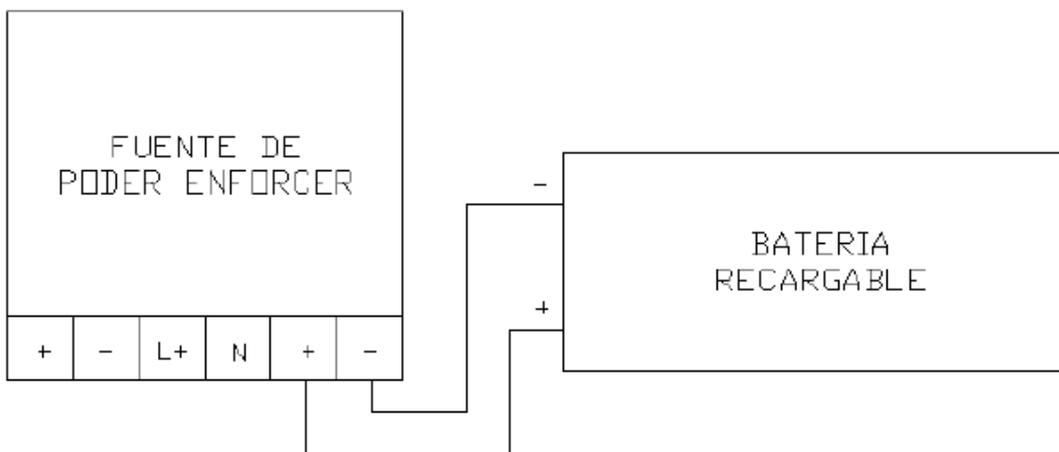


Figura 3.41 Diagrama de conexión Enforcer con batería

La fuente de alimentación es de 12V, la misma que sirve para suministrar energía al motor. Dependiendo del selector que tiene la tarjeta incorporada, en este caso esta calibrada para dar 12V, estos se encargan de alimentar al PLC y al motor con una corriente continua de 1,5A y máxima de 5A.

La batería tiene una duración de 12 horas a 7 Amperios, por las pruebas realizadas la batería puede trabajar dos días sin necesidad de ser recargada y trabajando con los 3 motores ya que estos solo trabajan en lapsos de 10 a 20 segundos 3 veces al día, después de esto, la batería se descarga y los motores pierden fuerza.

CAPITULO 4

4.1 Resultados

Una vez realizados la elección de los componentes, el diseño del sistema, se procedió a la implementación de la máquina, pero por el tamaño de la misma, no se pudo terminar, sin embargo, en el presente capítulo se muestran las fotos de algunas de las partes realizadas y montaje de la máquina abonadora para abono inorgánico. También se mostrará una tabla de una cantidad de personas que fueron encuestadas para determinar la cantidad de tiempo que se demora por persona para terminar una hectárea.

4.2 Colocación de Fertilizante en las Tolvas

La cantidad de abono que debe contener la máquina en cada una de sus tolvas es de 500Kg en su capacidad total es decir una tonelada, pero para su efectividad del trabajo normal de 2 hectáreas de recorrido es suficiente de 400Kg a 500Kg según sus datos de diseño, ya que para los datos de diseño la máquina esta sobre dimensionada.

4.3 Fabricación de la Máquina Abonadora

La máquina se construyó en Paijan provincia de la libertad a 30 minutos de Trujillo, el producto está siendo realizado para un cliente local.

Fases de Diseño de la Máquina Abonadora

Primero se culminó por el tornillo fin por la complejidad de la soldadura y la precisión que conlleva su diseño.



Figura 3.42 Diseño de Tornillo sin fin

Luego se completó el diseño del eje del tornillo fin



Figura 3.43 Diseño del eje del tornillo sin fin

Luego se colocó las mangueras de distribución entre la aleta de la aradora hasta el tornillo sin fin, esta es la responsable del trabajo de abonado de los terrenos



Figura 3.44 Colación de Mangueras de distribución

Luego se colocó las mangueras de distribución que son las responsables de accionar los tornillos sin fin. De acuerdo al control que se le aplicó

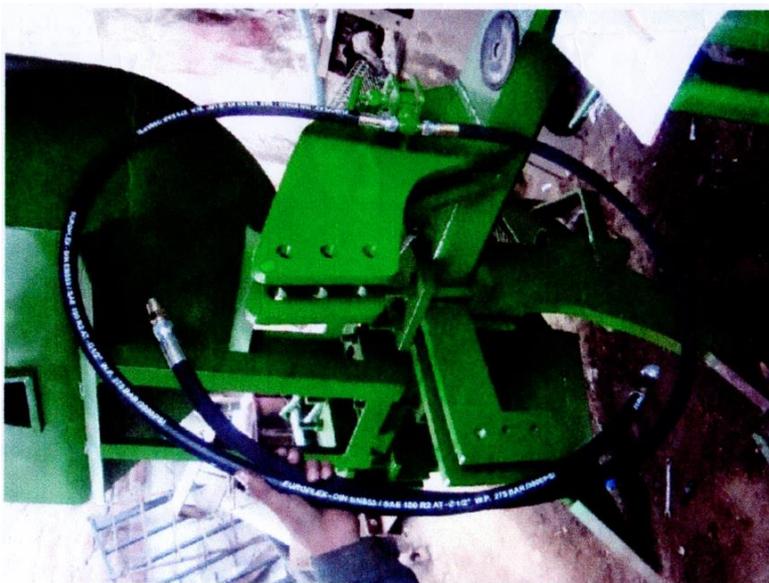


Figura 3.45 Colocación de mangueras para aire comprimido

Luego se realizaron las puntas de la aradora, como su nombre lo indica son las responsables de arado del terreno previo trabajo antes de la distribución del abono



Figura 3.46 Diseño de la Punta de la Aradora

El diseño de la maquina abonadora queda de la siguiente manera



Figura

Maquina Abonadora

3.47

Vista posterior de la maquina abonadora



Figura 3.48 Vista posterior de la maquina

La máquina funciona al término de su implementación será conectada a un tractor que será el responsable del trayecto que esta conlleve. Y la cual vemos en la siguiente foto

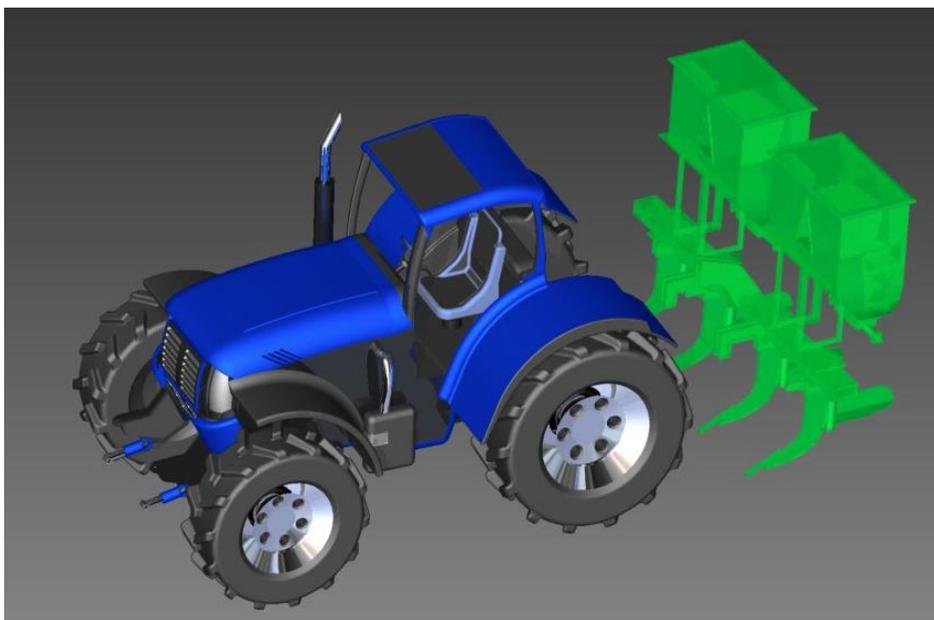


Figura 3.49 Maquina Abonadora y Tractor

4.4 Encuesta realizada en el distrito de paijan

En el Distrito de pajian en el departamento de la libertad se tomó una muestra de 20 personas todas ellas se dedican a la agricultura, fueron preguntadas con la finalidad de saber la cantidad de tiempo que se demora en trabajos de fertilizado una persona por una hectárea por cada hora de trabajo.

Trabajo de terreno manual		
N° Personas	Trabajo (persona/h/ha)	Costo
6	1.5	25
11	2	20
3	2.5	18

Fuente: Propia

Tabla 4.1 Trabajo de terreno manual

Los resultados nos dicen lo siguiente:

Seis personas dijeron que una persona se demora 1.5 horas para fertilizar una hectárea y que su jornal es de 25 soles.

Once personas dijeron que una persona se demora 2 horas para fertilizar una hectárea y que su jornal es de 20 soles.

Tres personas dijeron que una persona se demora 1.5 horas para fertilizar una hectárea y que su jornal es de 18 soles.

El presente trabajo muestra un diseño de una máquina abonadora que será arrastrada por un tractor a una velocidad de 10 Km/h es o significa que para una hectárea su promedio de trabajo será de aproximadamente 8 minutos para cubrir el área entera. Entonces la máquina es lo sumamente eficiente para este trabajo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De la presente investigación, podemos citar las siguientes conclusiones:

En el diseño de la maquina se logró obtener mediante todo el material consultado conectar la teoría y práctica a fin de cumplir con el objetivo de obtener un prototipo de una máquina capaz de distribuir abono inorgánico de una manera uniforme eficiente.

La construcción de la maquina abonadora fue un paso importante hacia la agricultura conservacionista que va de la mano con el desarrollo socio-económico de los productores y pobladores de la zona de influencia.

La máquina abonadora no tiene un alto costo, lo que hace accesible la compra de materiales, costos externos y mano de obra para su construcción.

El tipo de abono empleado en este trabajo presenta una granulometría y estado de conservación adecuado para conseguir una correcta distribución y no causar daños al terreno sobre el cual estemos trabajando.

En las abonadoras que se ha mencionado en la presente tesis, no presentan desviaciones entre la dosis total que el agricultor pretende aplicar y la que realmente aplica.

La velocidad de avance del tractor influye directamente en la eficiencia de la maquina distribuidora de abono, se recomienda una velocidad de avance hasta 10Km/h, ya que la velocidad de avance es independiente de la velocidad de giro del toma-fuerza del tractor.

En el proceso de diseño la presente tesis se aplicó todos los conocimientos tanto teóricos como prácticos obtenidos durante la carrera universitaria, enfocando principalmente el diseño de elementos de máquinas, proceso de manufactura, dibujo mecánico, mecánica y ciencias materiales, entre otros.

La utilización de una máquina de distribución de abono de, este tipo, es de mucha ayuda para el desarrollo de la agricultura dentro de nuestro país ya que optimiza el tiempo del proceso de abonado lo cual convierte a la máquina en una buena inversión.

Recomendaciones

La apertura de la compuerta de descarga del tornillo sin fin genera un caudal determinado de abonado sobre los terrenos se recomienda ajustar en nivel de apertura de la compuerta dependiendo de la necesidad de abono del terreno.

La velocidad de avance del tractor recomendada para que las características de diseño de la maquina distribuidora de abono solido funcione de manera correcta es de hasta 10Km/h con una tolerancia de 2km/h la cual afectaría de manera aceptable.

Se recomienda fortalecer la enseñanza universitaria, en temas relacionados de prácticas en taller, para tener un criterio técnico profundo en procesos de planificación y construcción de máquinas.

Es necesario que este tipo de proyectos se generen de manera permanente para que los futuros profesionales pongan en práctica sus conocimientos, con el fin de lograr de mejor manera un desarrollo futuro.

Asociar a los pequeños productores con el fin de lograr mejores créditos a las actividades agropecuarias y que tengan más acceso a las nuevas tecnologías.

BIBLIOGRAFIA

ORTIZ, CAÑAVATE, J. Las Abonadoras Agrícolas y su aplicación, Editorial – MP, 6ta Edición; 2003.

ROMERO, ESPAÑA, SUÁREZ. Maquinaria y Producción Agrícola; Ediciones de la Universidad de Castilla, 2002.

BITTNER, RICHARD, H. Seguridad en la máquina agrícola, Ediciones Moline III / Deere, 1974.

DORGMAN, DONALD, E. Tractors, Editions Moline III / Deere, 1981

STONE, ARCHIE A. Machines for power farming 3a Ed, Editions New York / Wiley , 1977.

SHIGLEY, J. MISCHKE, CH. Diseño en Ingeniería mecánica. 8va Edición MacGraw Hill. 2008.

NORTON, R. Diseño de máquinas. Primera ed. Prentice Hall. 1999.

BALL, P.B., FIELD, T.R.O. Response to nitrogen as effected by pasture characteristics, season and growth management. In: Lynch PB ed. Nitrogen fertilisers in New Zealand agriculture. Auckland, Ray Richards Publisher. Pp. 45-64, 1995.

GRAFTON, MCE, YULE, IJ, Rendle, BW , A Review of Technologies for Improved Fertiliser Application Accuracy, In: Adding to the Knowledge Base for the Nutrient Manager. 1995.

Márquez. Técnicas y equipos para la distribución de fertilizantes. Seminario, 1998.

Ortiz -Cañavate J. y colaboradores. Las máquinas agrícolas y su aplicación. Ed. Mundi-Prensa. 53 edición, 1995.

Ortiz-Cañavate J. y J.L Hernanz. 1989. Técnica de la mecanización agraria. *Eú*. Mundi-Prensa. 3a Edición.

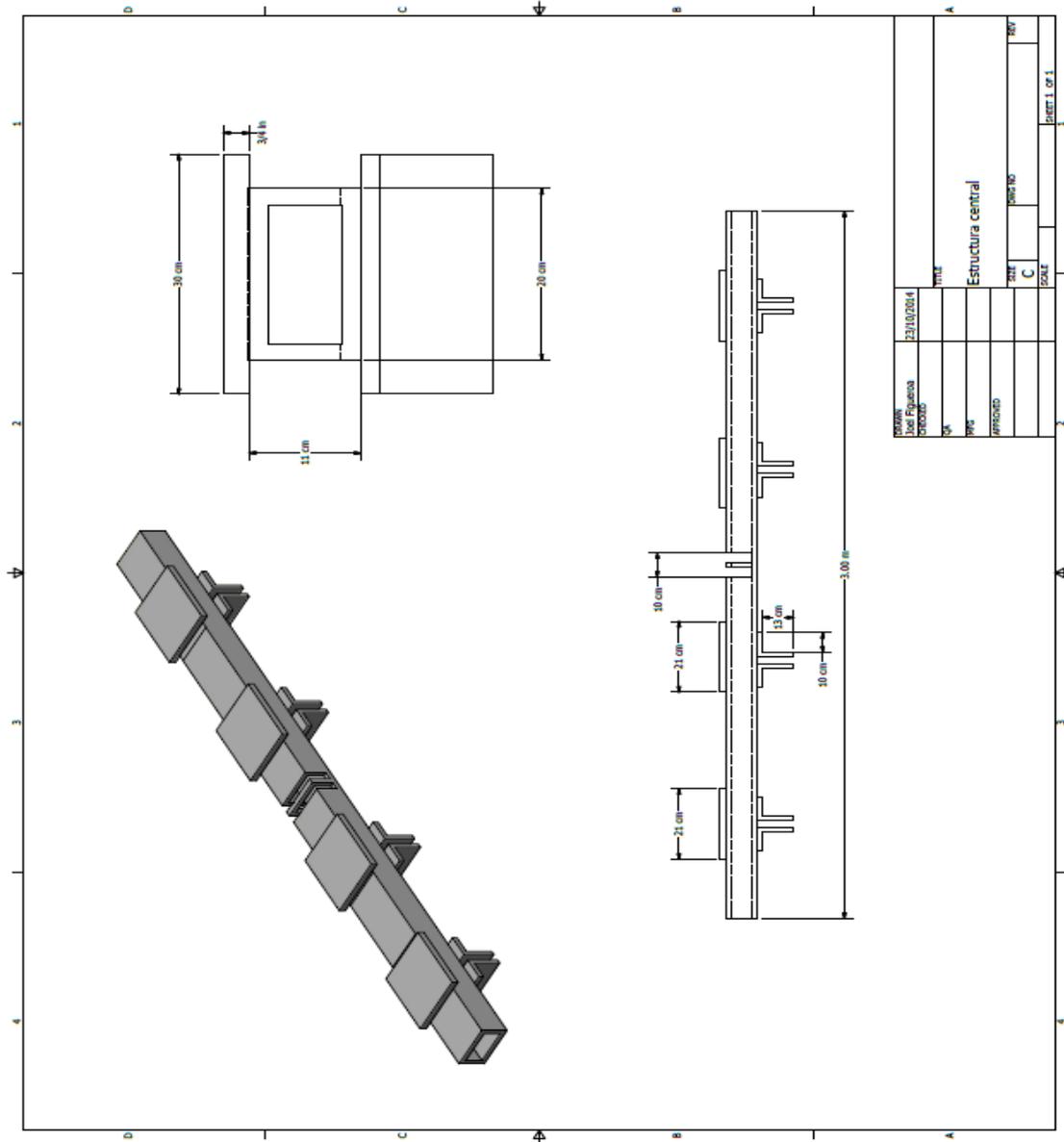
Robert L. Norton. Diseño de Maquinaria 2da edición

ANEXOS

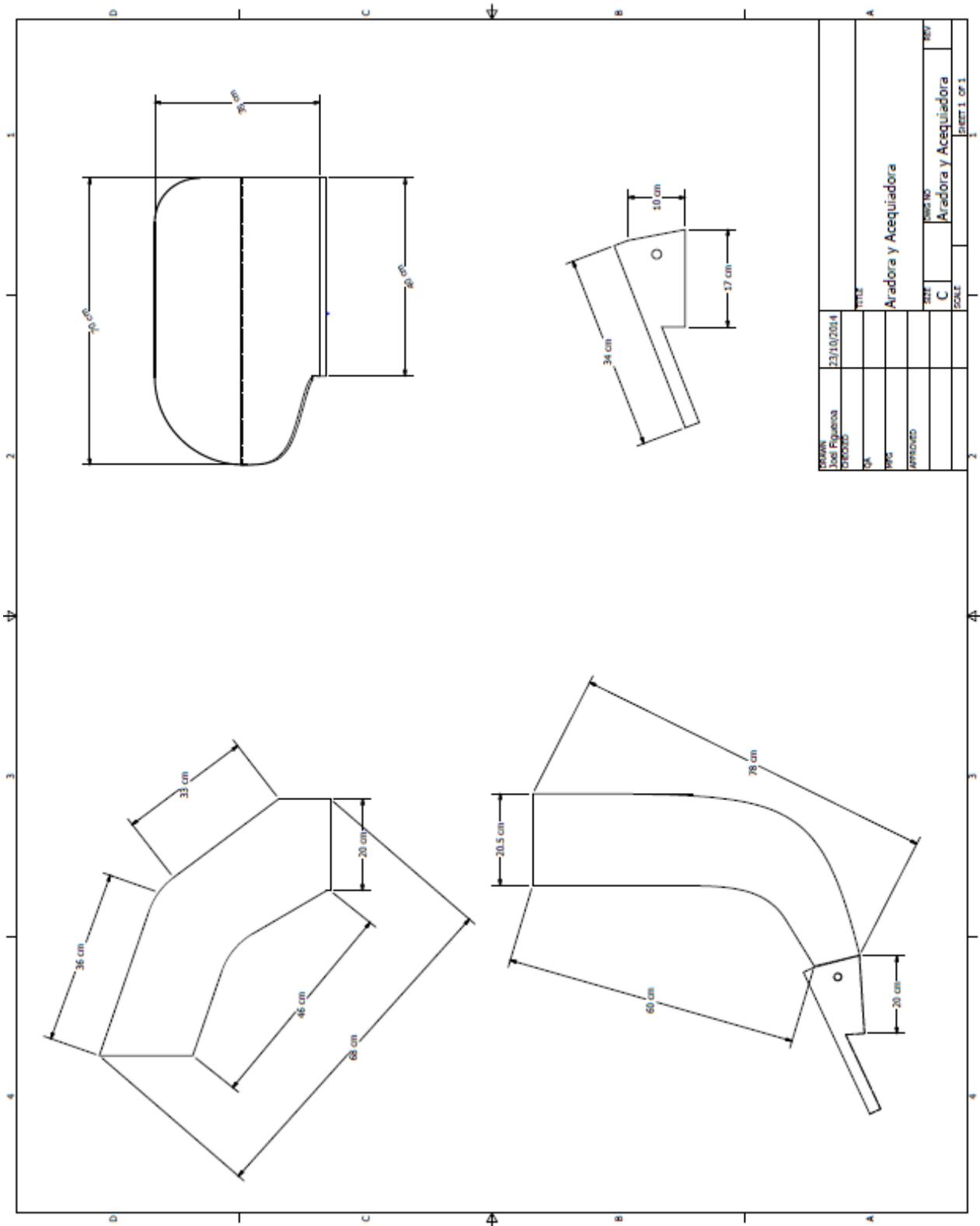
ANEXO 1

PLANOS MECANICOS

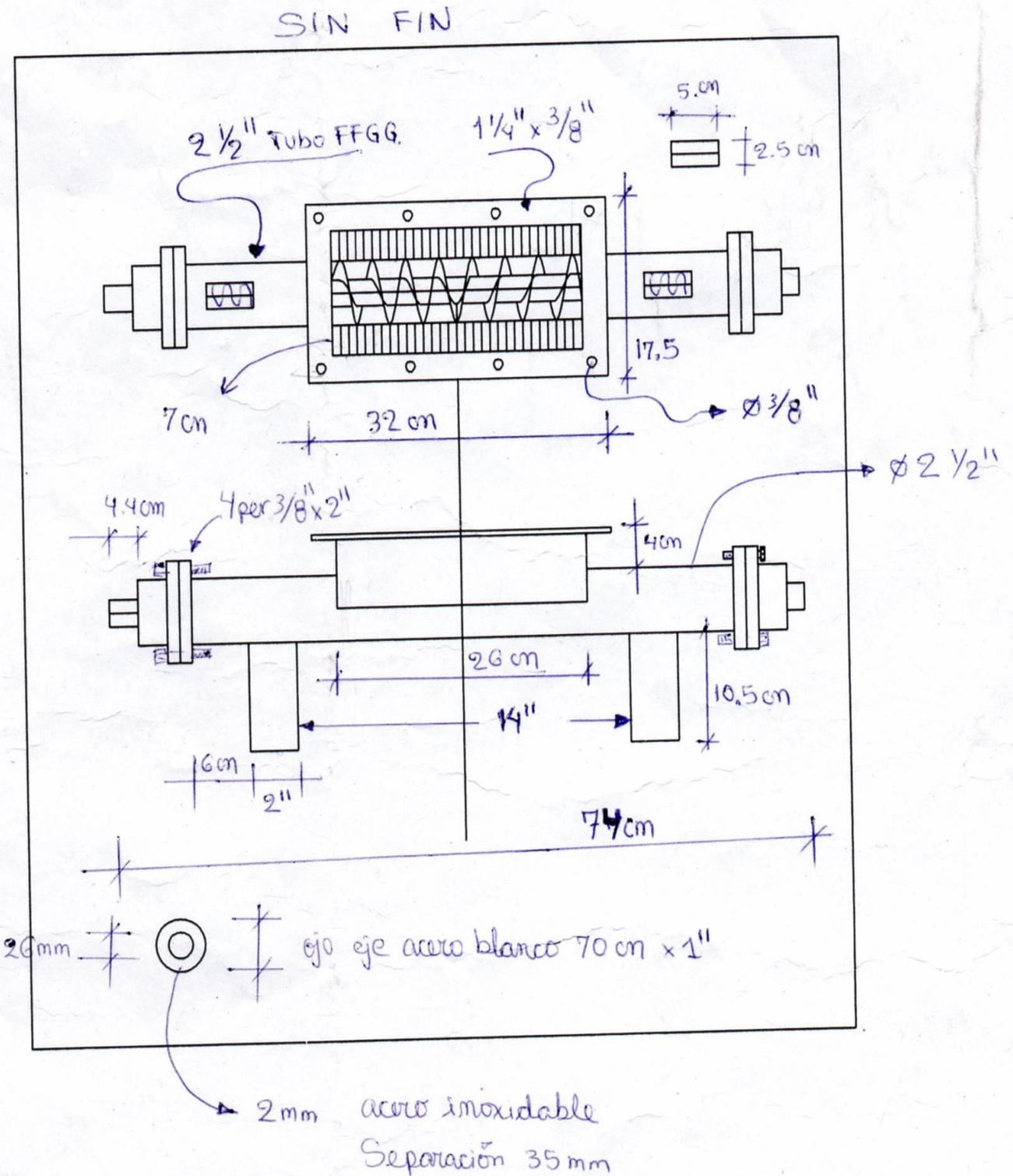
ANEXO 1-3: Dimensiones de estructura Central



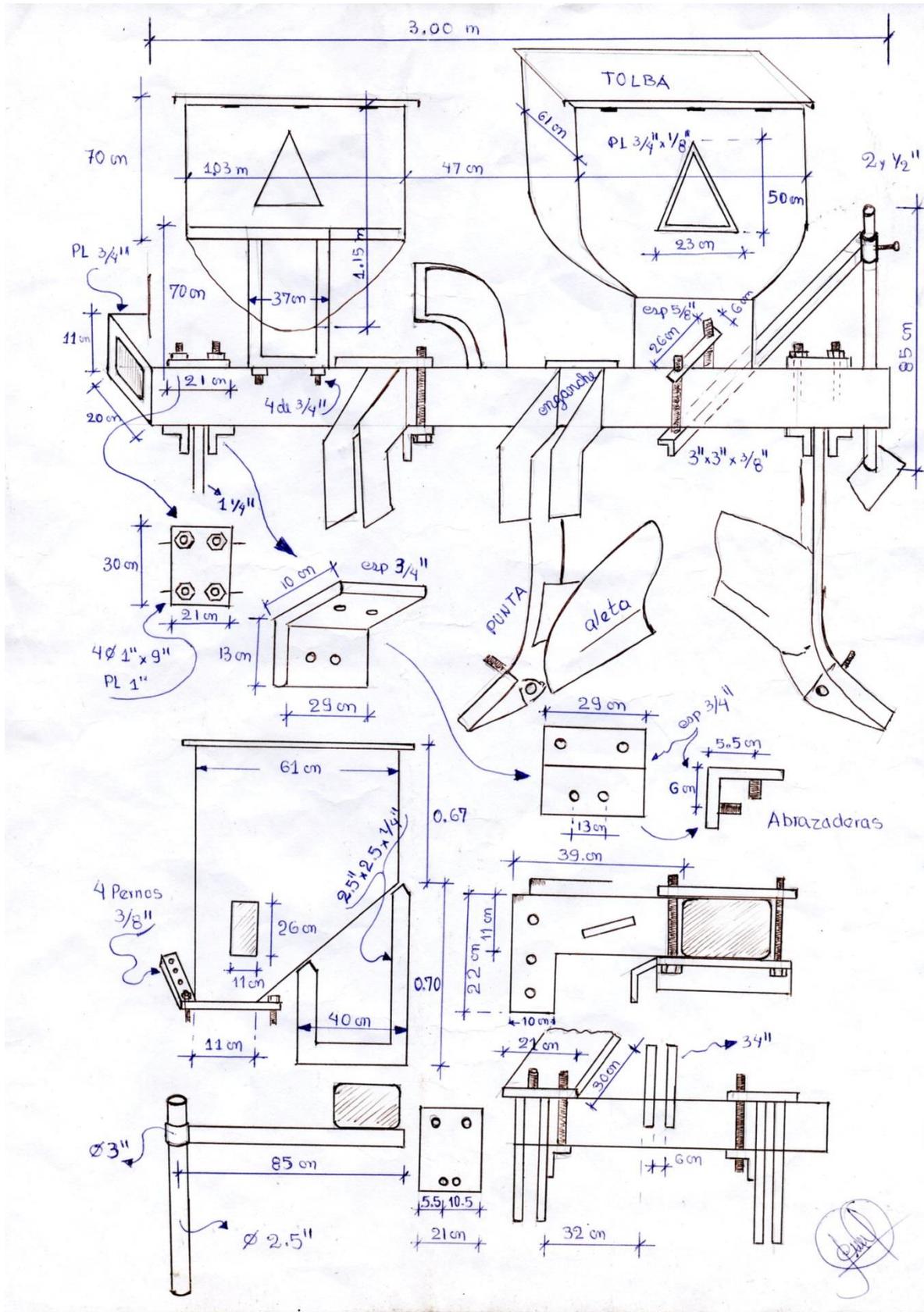
ANEXO 1-4: Dimensiones de Aradora y Acequiadora

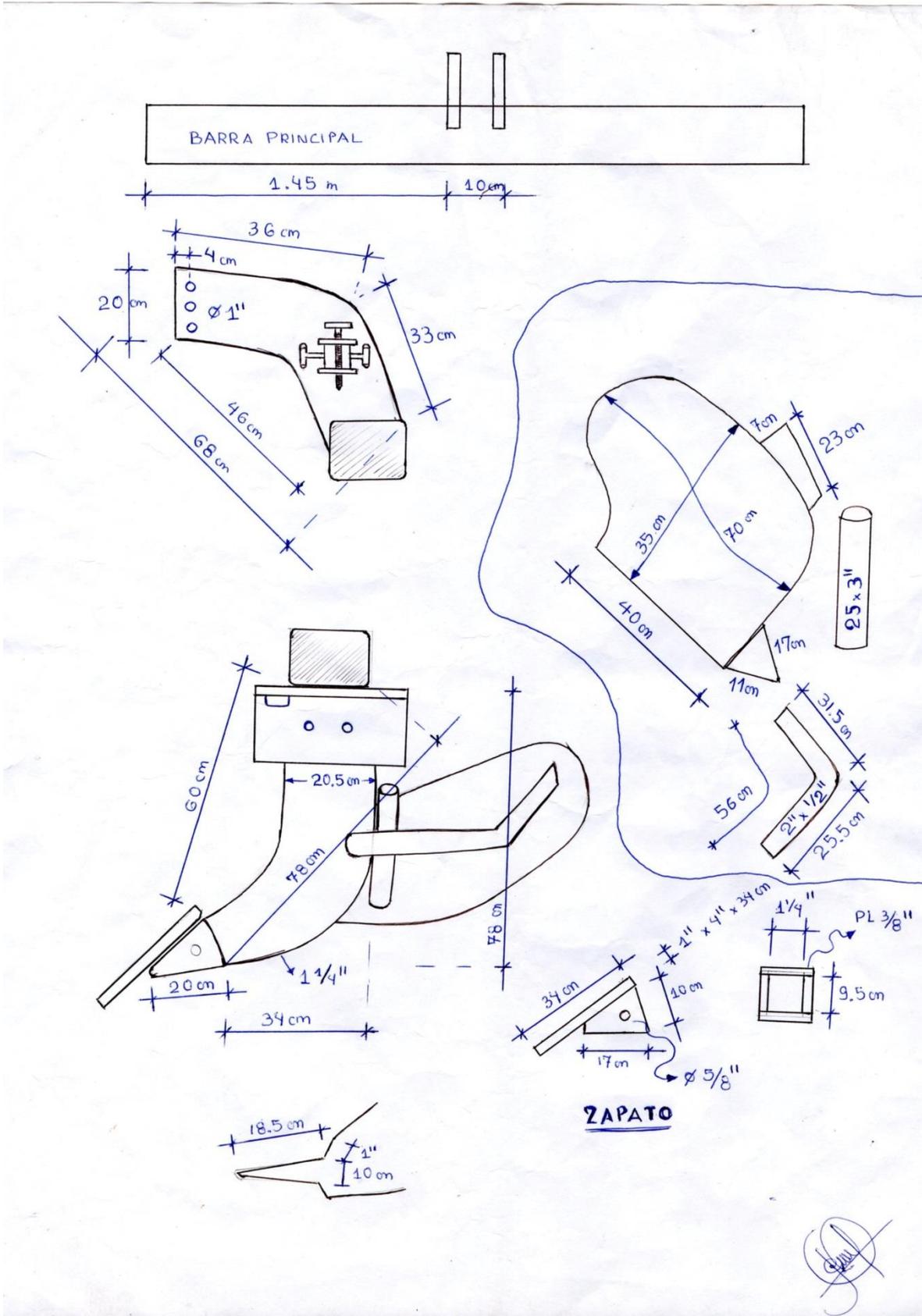


ANEXO 1-5: Tornillo sin fin



ANEXO 1-6 Esquema Mecánico general del diseño





ANEXO 2

MANUAL DE USUARIO

El siguiente manual fue elaborado con la finalidad de que sea utilizado luego de que la maquina esté implementada y completamente operativa.

Instrucciones de uso antes de usar la maquina

Tener en cuenta y verificar que en la maquina se encuentre la cantidad de requerido de abono.

Encender el tractor y posteriormente el botón on/off.

Una vez encendida la máquina, con la pantalla que estará a la mano del operador del tractor configurar la máquina para que trabaje a condiciones que le permitan estar cómodo en el trayecto. El PLC contará con el programa que se encargará de dar funcionamiento al sistema.

Se puede cambiar el tiempo desde la pantalla HMI, aquí indica los motores los tiempos de las válvulas seteados, además esta configuración indica la hora programa para el encendido de la maquina en cada semana, también se lo puede cambiar de la misma forma.

Luego de la jornada presionar el botón de apagado y la maquina se apagará

PRECAUCIONES

No acercarse a la maquina demasiado cuando esté en funcionamiento ya que podría ser perjudicial para la salud y la seguridad de la persona.

Tener precaución de no tocar la maquina cuando esté en funcionamiento.

Tener cuidado de no ponerse en frente a la maquina cuando esta trabaje, obstruiría y perjudicaría la calidad del trabajo.

Al encenderse la maquina cuidado con el motor, que se prende bruscamente al encender la máquina.

MANTENIMIENTO

Para que la maquina trabaje de la manera más adecuada se debe realizar un mantenimiento periódico de la misma.

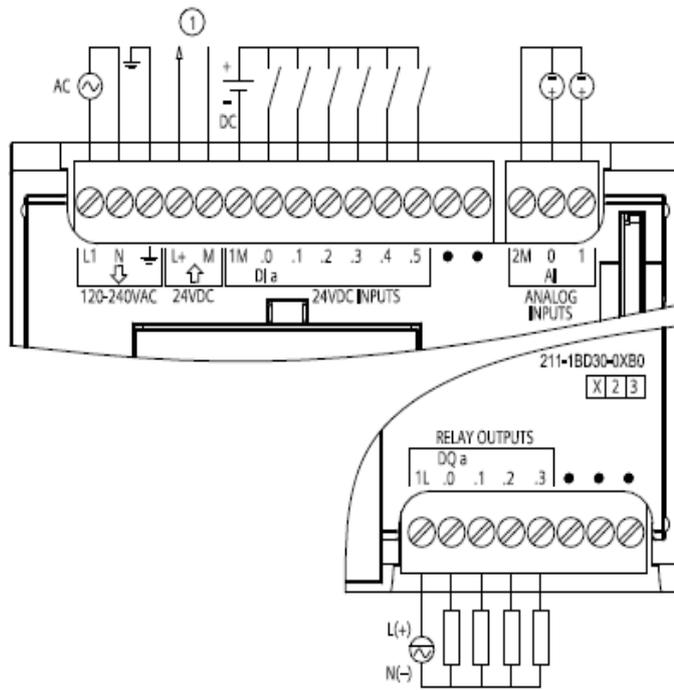
Plan de mantenimiento

DESCRIPCION	FRECUENCIA	C. PERSONAS
Inspección general (reajuste de pernos, revisión de tolvas, motor, etc) 1h	diaria	1
Lubricación de ejes	3 meses	1
Calibración y calibración de instrumentos sensores, PLC, etc 3h	6 meses	2
Lubricación de tornillos	12 meses	1

ANEXO 2

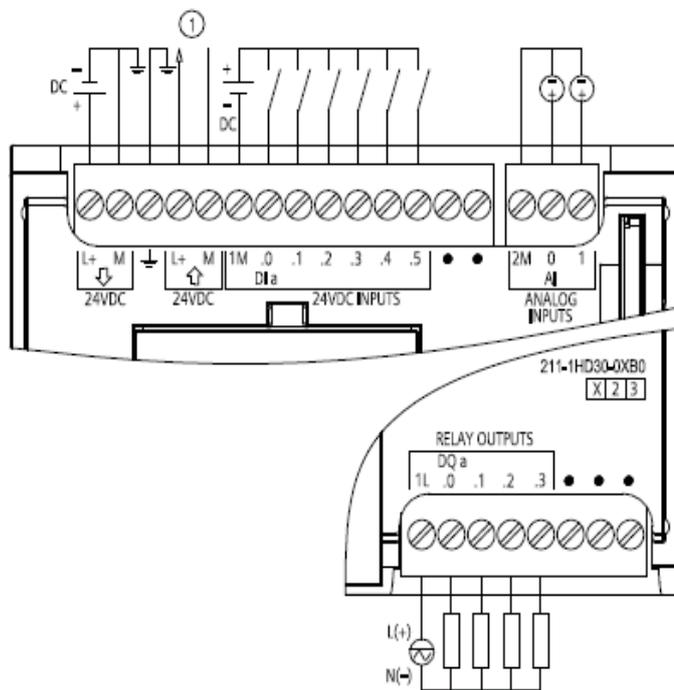
DIAGRAMA DE CABLEADO

PLC 07-1000



① Alimentación de sensores 24 V DC

Figura A-1 CPU 1211C AC/DC/relé (6ES7 211-1BD30-0XB0)



① Alimentación de sensores 24 V DC

ANEXO 3

FICHA TECNICA CAÑA DE AZUCAR

FICHA TECNICA CAÑA DE AZUCAR

Características Importantes

Nombre científico : Saccharum officinarum

Familia : Gramíneas

Género : Saccharum

Origen : sureste asiático

Variedades Cultivadas : Híbridos de la especie officinarum y otras afines
(spontaneum)

Procedencia : Del Extremo Oriente, de donde llegó a España en el siglo IX. España la llevó a América en el siglo XV.

Cultivo Plurianual : Se corta cada 12 meses, y la plantación dura aproximadamente 5 años.

Generalidades

Tiene un tallo macizo de 2 a 5 metros de altura con 5 ó 6 cm de diámetro. El sistema radicular lo compone un robusto rizoma subterráneo; puede propagarse por estos rizomas, por trozos de tallo.

La caña tiene una riqueza de sacarosa del 14% aproximadamente, aunque varía a lo largo de toda la recolección.

Aprovechamiento: La caña de azúcar suministra, en primer lugar, sacarosa para azúcar blanco o moreno. También tiene aproximadamente 40 kg/tm de melaza (materia prima para la fabricación del ron. También se pueden sacar unos 150 kg/tm de bagazo. Hay otros aprovechamientos de mucha menor importancia como los compost agrícolas, vinazas, ceras, fibra absorbente, etc.

Exigencias del cultivo: La caña de azúcar no soporta temperaturas inferiores a 0 °C, aunque alguna vez puede llegar a soportar hasta -1 °C, dependiendo de la duración de la helada. Para crecer exige un mínimo de temperaturas de 14 a 16 °C. La temperatura óptima de crecimiento parece situarse en torno a los 30 °C., con humedad relativa alta y buen aporte de agua.

Se adapta a casi todos los tipos de suelos, vegetando mejor y dando más azúcar en los ligeros, si el agua y el abonado es el adecuado. En los pesados y de difícil manejo constituye muchas veces el único aprovechamiento rentable. Únicamente en suelos ácidos, que no suelen existir en las zonas donde se cultiva la caña en España, crea problemas graves. Los suelos muy calizos a veces dan problemas de clorosis.

Variedades: Las principales variedades de azúcar que se cultivan en el Perú son 18. Estas variedades, difieren en características como brotamiento, formación de macollo, crecimiento, acamamiento, riqueza de pol y capacidad soquera. Las variedades de brote más

rápido son la H44 - 3098, H50 - 7209, H52 - 4610, H55 - 8248. Las variedades más cultivadas son la H32 - 8560, H37 - 1933 y la P12 - 745 (Azul de Casa grande)

Variedades de Caña de Azúcar en el Perú	
Variedad de Caña	Brotamiento
H32 - 8560	Moderado
H37 - 1933	Moderado
H38 - 2915	Moderado
H39 - 5803	Lento
H44 - 3098	Rápido
H49 - 104	Moderado
H50 - 7209	Moderado
H51 - 8194	Rápido
H52 - 4610	Moderado
H54 - 2508	Rápido
H55 - 8248	Moderado
H57 - 5174	Rápido
PCG57 - 0497	Lento
PCG57 - 0586	Lento
PVG59 - 2194	Lento
Lar52 - 604	Lento
2 - 745 (Azul Casagrande)

En cobertura: 200 ó 300 kg de N en dos o tres aplicaciones durante el verano y otoño.

Hoy en día por resultados obtenidos en campos de ensayos se tiende a rebajar las dosis de fósforo y potasio.

Calendario de Siembra y Cosecha

La producción de caña de azúcar no tiene una estacionalidad definida por tanto la siembra y la cosecha se realiza durante todo el año, permitiendo que los ingenios azucareros estén abastecidos permanentemente de caña. Esta característica no permite planificar una cosecha de caña de azúcar.

ANEXO 4

ANALISIS FINANCIERO

Análisis Financiero

Costos

Directos

Materiales y Accesorios

COSTOS DIRECTOS				
N°	DESCRIPCION	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	Plancha de metal 3/4" x 1/8"	2	S/. 700	S/. 1,400
2	Pernos de 3/4"	500	S/. 1	S/. 500
3	Plancha de metal 3/4" x 1/8"	2	S/. 700	S/. 1,400
4	Plancha de metal 1"	2	S/. 500	S/. 1,000
5	Pernos de 3/8"	1	S/. 15	S/. 15
6	Pernos de 1"	1	S/. 15	S/. 15
7	Plancha de 3/4"	1	S/. 500	S/. 500
8	Plancha de metal 3/8"	3	S/. 600	S/. 1,800
9	Barra rectangular 20cmx11cm , L: 3m	2	S/. 200	S/. 400
10	Plancha de metal espesor: 1 1/4"	3	S/. 200	S/. 600
11	Tubo de Metal 2 1/2"	2	S/. 100	S/. 200
12	Pernos de 3/8 x 2 "	1	S/. 15	S/. 15
13	Plancha de metal 1"x4"x3/4"	3	S/. 100	S/. 300

14	Materiales Eléctricos	1	S/. 2,500	S/. 2,500
Fuente: Aceros Arequipa, SODIMAC			TOTAL	S/. 10,645

COSTOS DE MANO DE OBRA				
N°	DESCRIPCION	CANTIDAD	V.UNITARIO	VALORTOTAL
1	Construcción de Tolva, Aradora y acequiadora	1	S/. 800	S/. 800
2	Soldadura	1	S/. 900	S/. 900
3	Puesta en Marcha 18%	1	S/. 800	S/. 800
4	Construcción de Tornillo sin fin	1	S/. 500	S/. 500
			TOTAL	S/. 3,000

Costos

Indirectos

Misceláneos

COSTOS INDIRECTOS	Valor Total
Copias Bibliográficas	S/. 150
Útiles de Oficina	S/. 50
Movilización	S/. 200

Subtotal	S/. 400
IGV 18%	S/. 72.00
Total	S/. 472.00

Resumen de Costos

Descripción	Valor Total
Costos Directos	S/. 15,275.10
Costos Indirectos	S/. 472.00
Imprevistos	S/. 200
TOTAL GLOBAL	S/. 15,947.10

ANEXO 5

ENCUESTA

ENCUESTA

Encuesta para obtener información del proyecto de Evaluación de Maquinaria Agrícola en la región del Valle de Serdán, Puebla.

1. DATOS PERSONALES:

Nombre: _____

Municipio: _____

Localidad: _____

2. ACTIVIDADES DE LA PRODUCCIÓN

1.- ¿Cuenta con terrenos agrícolas y/o trabaja en algunas? Si: _____ No: _____

2.- La tenencia de la tierra es:

(Alquilada) (Propia)

3.- ¿Con cuántas hectáreas dispone? : _____

4.- ¿Cuántas veces abona sus tierras al año?

a) Una b) Dos c) Mas de Dos

5.- ¿Tiene algún factor limitante?

Si. (Clima) (Financiero) (Agua) (No tiene)

Otro: _____

6.- ¿Cuenta con maquinaria agrícola?

(SI) (NO)

7.- ¿Diseña su propia maquinaria? Si: No:

8.- ¿Cuánto tiempo demora para trabajar la tierra una persona por hora por hectárea?

9.- ¿Cuánto cobra por fertilizar una persona por hectárea?