

# Fertilizadora para uso científico

Presentado por  
**Ciuró, Daniel Iván**  
**Gianetti, Fernando Martín**  
**Mutilba, Santiago**

para optar al grado de  
**Ingeniero Mecánico**

Director  
**Dr. Ing. Carr, Gustavo**

Codirector  
**Ing. Tourn, Santiago**

Facultad de Ingeniería  
Universidad Nacional de Mar del Plata

13/12/2019



RINFI se desarrolla en forma conjunta entre el INTEMA y la Biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Mar del Plata.

Tiene como objetivo recopilar, organizar, gestionar, difundir y preservar documentos digitales en Ingeniería, Ciencia y Tecnología de Materiales y Ciencias Afines.

A través del Acceso Abierto, se pretende aumentar la visibilidad y el impacto de los resultados de la investigación, asumiendo las políticas y cumpliendo con los protocolos y estándares internacionales para la interoperabilidad entre repositorios



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-  
NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

# Contenidos

<b>I Fertilizadora de precisión</b>	<b>5</b>
1 Resumen	6
2 Introducción y objetivos del trabajo	7
2.1 Introducción . . . . .	8
2.2 Problemática . . . . .	10
2.3 Objetivos . . . . .	10
2.3.1 Objetivos generales . . . . .	10
2.3.2 Objetivos específicos . . . . .	10
2.3.3 Requerimientos para el equipo . . . . .	11
3 Marco teórico y tecnológico	12
3.1 Fertilización . . . . .	13
3.1.1 Fertilizante . . . . .	13
3.2 Tipos de fertilización . . . . .	14
3.2.1 Fertilización líquida . . . . .	14
3.2.2 Fertilización sólida . . . . .	14
3.2.3 Tipos de fertilizantes sólidos . . . . .	14
3.3 Sistemas de distribución . . . . .	18
3.3.1 Distribución neumática . . . . .	18
3.3.2 Distribución por discos . . . . .	19
3.3.3 Distribución a chorrillo . . . . .	21
4 Prediseño - Determinación de requerimientos	24
4.1 Prediseño . . . . .	25
4.2 Estructura . . . . .	25
4.3 Tolva . . . . .	25
4.4 Sistema de distribución . . . . .	28
4.5 Sistema de dosificación . . . . .	30
4.5.1 Sistema a chorrillo . . . . .	30
4.5.2 Sistema a cepillo . . . . .	33

4.5.3	Sistema a rodillo . . . . .	35
<b>5</b>	<b>Prototipo y ensayos</b>	<b>40</b>
5.1	Diseño computarizado . . . . .	41
5.2	Fabricación . . . . .	42
5.2.1	Estructura . . . . .	42
5.2.2	Precámara . . . . .	42
5.2.3	Rodillo dosificador . . . . .	42
5.2.4	Cepillos . . . . .	43
5.2.5	Bancadas del rodillo . . . . .	43
5.2.6	Sistema de accionamiento . . . . .	43
5.2.7	Sistema de control . . . . .	44
5.2.8	Prototipo terminado . . . . .	47
5.3	Ensayos . . . . .	49
5.3.1	Calibración . . . . .	49
5.3.2	Ensayos según Norma IRAM 8041 . . . . .	52
5.4	Conclusiones . . . . .	58
<b>6</b>	<b>Diseño</b>	<b>59</b>
6.1	Diseño final . . . . .	60
6.2	Sistema de distribución . . . . .	60
6.3	Sistema de dosificación . . . . .	63
6.3.1	Cilindro dosificador . . . . .	63
6.3.2	Apoyos . . . . .	64
6.3.3	Cepillos . . . . .	66
6.4	Tolva . . . . .	66
6.5	Chasis . . . . .	68
6.6	Sistema de control . . . . .	76
6.6.1	Motores . . . . .	77
6.6.2	Controladores . . . . .	79
6.6.3	Módulo GPS . . . . .	81
6.6.4	Interfaz . . . . .	82
6.6.5	Controladores generales . . . . .	83
6.6.6	Sensores . . . . .	85
6.6.7	Programación . . . . .	85
6.6.8	Plano eléctrico . . . . .	86
6.7	Conclusiones y recomendaciones . . . . .	89
<b>7</b>	<b>Estudio económico</b>	<b>95</b>

<b>8</b>	<b>Manual de usuario</b>	<b>98</b>
8.1	Menú principal . . . . .	99
8.2	Preparación . . . . .	100
8.2.1	Llenado de precámara . . . . .	100
8.2.2	Calibración . . . . .	101
8.3	Ingreso de datos . . . . .	101
8.3.1	Uso total o parcial del equipo . . . . .	101
8.3.2	Fertilización simple / mixta . . . . .	101
8.3.3	Dosificación . . . . .	102
8.3.4	Ingreso del parámetro X . . . . .	102
8.4	Proceso de fertilización . . . . .	102
8.5	Finalización y vaciado . . . . .	103
<b>9</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones</b>	<b>104</b>
9.1	Conclusiones . . . . .	105
9.2	Recomendaciones para estudios futuros . . . . .	105
<b>II</b>	<b>Apéndices</b>	<b>106</b>
<b>A</b>	<b>Apéndice teórico</b>	<b>107</b>
A.1	Proceso de cultivo . . . . .	108
A.1.1	Pasos previos antes de sembrar el campo . . . . .	108
A.2	Los nutrientes - sus funciones en las plantas y sus fuentes . . . . .	110
A.2.1	Nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas . . . . .	110
A.2.2	Las funciones de los nutrientes . . . . .	110
A.2.3	Fotosíntesis . . . . .	111
A.3	Suelos . . . . .	114
A.3.1	¿Qué es el suelo? . . . . .	114
A.3.2	Los componentes del suelo, su textura y estructura . . . . .	114
A.4	Fertilizantes . . . . .	116
A.4.1	¿Qué es un fertilizante? . . . . .	116
A.4.2	Aplicación de fertilizantes . . . . .	116
A.4.3	Síntomas de carencia en las plantas . . . . .	119
A.5	Fertilizantes sólidos . . . . .	123
A.5.1	Propiedades de los fertilizantes . . . . .	123
A.5.2	Tipos de fertilizantes y sus características . . . . .	128
A.6	Máquinas para fertilizantes líquidos . . . . .	133

<b>B Sistema de control - Arduino</b>	<b>136</b>
B.1 Control de un motor de corriente continua . . . . .	137
B.1.1 Ejemplo de los códigos utilizados para el control de un motor DC utilizando PWM . . . . .	137
B.2 Módulos externos para el control de motores . . . . .	141
B.2.1 Módulo L293D . . . . .	141
B.2.2 Módulo L298N . . . . .	142
B.2.3 Monster Moto Shield . . . . .	143
B.3 Sensores . . . . .	146
B.3.1 Módulo GPS6M . . . . .	146
B.4 Otros componentes . . . . .	148
B.4.1 LCD shield con botonera . . . . .	148
B.5 Conexión del sistema de control . . . . .	150
B.5.1 Código de placas controladoras . . . . .	152
<b>C Ensayo según la Norma IRAM 8041</b>	<b>189</b>
C.1 Ensayo según norma . . . . .	190
C.1.1 Condiciones generales del ensayo . . . . .	194
C.1.2 Condiciones particulares del ensayo . . . . .	194
C.1.3 Tipos de ensayo a realizar . . . . .	195
C.1.4 Ensayo de dosificación . . . . .	195
C.1.5 Ensayo de efecto de nivel de tolva . . . . .	195
C.1.6 Ensayo de distribución transversal . . . . .	196
C.2 Tablas y figuras - Ensayo de dosificación . . . . .	199
C.3 Tablas y figuras - Ensayo de efecto de nivel de tolva . . . . .	200
C.4 Tablas y figuras - Ensayo de distribución transversal . . . . .	201
<b>D Planos</b>	<b>206</b>
<b>E Apéndice Matemático</b>	<b>207</b>
E.1 Tornillo distribuidor . . . . .	208
E.1.1 Capacidad de transporte . . . . .	208
E.1.2 Potencia de accionamiento . . . . .	210
E.2 Relación entre la dosificación y el caudal de fertilizante . . . . .	212
E.2.1 Análisis . . . . .	212
E.3 Velocidad máxima para el rodillo dosificador . . . . .	214
E.3.1 Análisis . . . . .	214
E.4 Elásticos . . . . .	215
E.5 Rodamientos . . . . .	218

**Parte I**

**Fertilizadora de precisión**

# Sección 1

## Resumen

El siguiente trabajo fue realizado para optar por el título de Ingeniero Mecánico. A tal fin, se realizó el diseño de una Máquina Fertilizadora para uso científico. Ella se propone como alternativa para mejorar la calidad del proceso de fertilización en los ensayos de cultivos del INTA y de la Facultad de Ingeniería Agropecuaria de Balcarce.

El equipo será capaz de esparcir varios tipos de productos en un ancho de labor efectivo de 5 metros, con la posibilidad de trabajar en simultáneo con dos tipos de fertilizantes y capacidades diferentes. Liviano y de fácil puesta a punto, podrá plegarse para facilitar su transporte.

## Sección 2

# Introducción y objetivos del trabajo

## 2.1 Introducción

### Grupo de Mecanización Agrícola

Establecimos contacto con el Ingeniero Santiago Tourn, Presidente de la Asociación de Ingeniería agrónoma de Balcarce e integrante del Grupo de Mecanización Agrícola de la Unidad Integrada Balcarce (FCA INTA), quien nos comentó los ensayos que realizan habitualmente, de qué forma los hacen y los problemas que presentan.

### Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

Es un organismo público descentralizado con autarquía operativa y financiera, que se encuentra bajo la órbita del Ministerio de Agroindustria de la Nación.

Creado en 1956, sus objetivos y esfuerzos se orientan a la *innovación como motor del desarrollo nacional*. Como integrante del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Nacional, desarrolla capacidades para el sector agroindustrial y participa en redes que fomentan la cooperación interinstitucional; genera conocimientos y tecnologías que pone al servicio de distintos sectores de la sociedad, a través de sus sistemas de extensión, información y comunicación.

Los aportes del INTA le permiten al país alcanzar una mayor potencialidad y generar nuevas oportunidades para acceder a los mercados regionales e internacionales con productos y servicios de alto valor agregado.

### INTA - Sede Balcarce

La Estación Experimental Agropecuaria Balcarce abarca una superficie de 4,2 millones de hectáreas que comprende diez partidos del sudeste y centro de la provincia de Buenos Aires. Esta zona está caracterizada por la diversidad de sus sistemas productivos, en los cuales se producen principalmente cereales, oleaginosas, hortalizas (especialmente papa), bovinos y ovinos.

Las actividades de investigación y experimentación focalizan las siguientes líneas de trabajo:

- Agronomía: biotecnología, calidad de la producción agroalimentaria, ecofisiología de cultivos y productos agrícolas, girasol, maquinaria agrícola, papa, recursos fitogenéticos, genética y mejoramiento vegetal, recursos naturales y gestión ambiental, suelos y sanidad vegetal.
- Producción Animal: producción y utilización de pasturas y pastizales, nutrición, metabolismo y calidad del producto, genética zootécnica,

biotecnología de la reproducción, sanidad animal y sistemas de producción.

- Economía y Sociología Rural: economía de la producción, sistemas agrarios y desarrollo, comercialización y mercados y economía agroindustrial.
- Extensión y Transferencia de Tecnología: presente en los diferentes partidos de la zona, permite la difusión y transferencia de los resultados de la investigación tecnológica, adaptándolos a los sistemas de producción y realizando acciones de capacitación, con el fin de potenciar las capacidades de innovación del sector.

Asimismo, esta Unidad del INTA junto a la Facultad de Ciencias Agrarias (dependiente de la *Universidad Nacional de Mar del Plata*) conforman un modelo de complementación institucional dedicado a la investigación, educación, extensión y capacitación, denominado **Unidad Integrada Balcarce**. En este marco se desarrollan cursos de perfeccionamiento y actualización y programas de posgrado, con Maestrías y Especializaciones, Doctorado en Ciencias Agrarias y el Programa de Residencia Interna en Salud Animal, además de otras actividades de investigación y extensión. [1]

### **Importancia de la fertilización de los suelos**

Resulta cada vez más común encontrar suelos más ácidos y con deficiencias de nutrientes en la región Pampeana (según informe del INTA). Esto es causado por la intensificación productiva y el monocultivo. La deficiencia de los micronutrientes afecta varios procesos metabólicos de la planta, tales como la respiración, la síntesis de clorofila y proteínas. En esta línea, resulta fundamental realizar una fertilización eficiente para no afectar el rinde y la calidad de la producción. En los últimos años la deficiencia nutricional de los suelos se incrementó. Ya no solo demandan nitrógeno o fósforo (típicos de la región) sino que ya hay déficit en azufre o en micronutrientes como el zinc. Otros nutrientes importantes que intervienen en procesos clave del metabolismo de la planta son el boro, cobre, hierro y manganeso.

Es importante tener en cuenta que tanto las deficiencias como los excesos de nutrientes complican el manejo de los cultivos. Un uso indebido de los fertilizantes impacta de manera negativa en el ambiente. Así, la importancia recae también en ajustar las metodologías de diagnóstico de requerimiento de nutrientes que permitan diseñar *estrategias de fertilización acordes* que compensen la extracción de los cultivos. [2]

## 2.2 Problemática

Cuando se realizan ensayos de investigación, es de suma importancia poder recrear las mismas condiciones en todos ellos para que los resultados sean totalmente comparables entre ellos. Es aquí donde surge la necesidad de obtener una máquina que sea capaz de realizar el esparcimiento del fertilizante sobre el suelo de forma idéntica en cada parcela ensayada.

Hoy en día es una persona la que se encarga de la fertilización, caminando sobre la parcela y soltando éste al boleó. Esto representa un problema muy grave para los grupos de investigación que realizan ensayos ya que no se puede obtener de esta forma una distribución homogénea y comparable en cada repetición del ensayo.

Conociendo este problema se propone la realización de una máquina fertilizadora que pueda realizar la función correctamente y reproducir las mismas condiciones de fertilizado en varios ensayos.

Algo muy importante a tener en cuenta son las condiciones bajo las que se utilizará el equipo. A diferencia de los terrenos con medianas a grandes irregularidades comúnmente utilizados para la siembra, las parcelas donde el INTA realiza sus ensayos son mayormente llanas. En cuanto al clima, el trabajo del mismo se limitará a los días que presenten condiciones favorables como: nulo a poco viento, sin lluvia y baja humedad. Esto último previene la formación de grumos de fertilizante que puedan perjudicar el desarrollo satisfactorio de la tarea.

## 2.3 Objetivos

### 2.3.1 Objetivos generales

- Realizar una investigación para informarse y lograr una completa comprensión de todos los términos y definiciones específicos del área de trabajo.
- Dar una solución de carácter ingenieril al problema planteado, tratando de obtener el mejor aprovechamiento de los recursos que se emplearán.

### 2.3.2 Objetivos específicos

- Diseñar una máquina que sea capaz de esparcir fertilizante a lo largo y ancho de una parcela con determinadas dimensiones.

- Plantear diversas opciones de construcción de los sistemas más importantes de la máquina para poder compararlas unas con otras y obtener características de cada una, ventajas y/o desventajas de cada opción.
- Realizar un análisis económico sobre cada una de las opciones propuestas.
- Calcular todos los parámetros que sean necesarios para seleccionar todos los componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que serán utilizados en la máquina.
- Construir un modelo en computadora y obtener los planos de fabricación del diseño final de la máquina.

### 2.3.3 Requerimientos para el equipo

Las siguientes características se establecieron en conjunto con personal del área de mecanización agrícola, que en cortas palabras resume algunos parámetros a los cuales nos debemos acatar.

- Ancho de labor de 5 metros
- Despeje<sup>1</sup> de 60 centímetros
- Trocha<sup>2</sup> variable. Las distancias entre hileras de los sembrados son de 0.7, 0.52, 0.35 y 0.175 metros.
- Se debe poder arrastrar con una camioneta o cuatriciclo, en lugar de un tractor
- Se debe fertilizar con fertilizantes de tipo granulados
- Accionamiento eléctrico de las partes móviles
- Un sistema de control que permita asegurar una distribución homogénea
- Posibilidad de plegar para un correcto guardado
- Facilidad de limpieza

---

<sup>1</sup>Se asocia a la altura del cultivo que no rozará ni dañará con su paso por encima.

<sup>2</sup>Distancia entre ruedas del carro.

## Sección 3

# Marco teórico y tecnológico

## 3.1 Fertilización

La siembra continua origina una escasez de nutrientes en los suelos que obliga a los agricultores a utilizar fertilizantes para poder obtener niveles elevados de producción. Esto se debe a que las cosechas extraen importantes cantidades de nutrientes, y para mantener los niveles de fertilidad, es necesario reponerlos. Esto se logra con fertilizantes orgánicos o minerales, siendo necesario aportar mayor cantidad cuanto más intensiva es la explotación del terreno.

En la aplicación de fertilizantes hay que tener en cuenta, además de la importancia de una fertilización equilibrada, una distribución uniforme y una localización apropiada en el terreno, ya que estos factores son necesarios para obtener grandes cosechas con mínimos costes. El suministro de nutrientes a las plantas debe estar disponible cuando éstas los requieran. Si no es así las plantas manifiestan sus carencias con anomalías vegetativas, tales como clorosis, deformaciones y necrosis en tallos, hojas y frutos. También hay que considerar que éstas pueden ser debidas, además de a la insuficiencia de nutrientes, a antagonismos entre diferentes elementos, a los excesos y defectos de humedad, a la temperatura del suelo, a la radiación y a la reacción del suelo.

La fertilización racional exige la aplicación de una mínima cantidad de fertilizantes que es necesaria para corregir deficiencias y evitar excesos. En general, es habitual aplicar más cantidad del realmente necesario, buscando así asegurar la máxima producción. Pero sin tener en cuenta que el empleo de una excesiva cantidad de fertilizante, además de ser un gasto económico innecesario, puede resultar tóxico para las plantas, lo que incide negativamente en la productividad y origina desequilibrios que interfieren en la asimilación de los elementos, sin olvidar la degradación del suelo y la contaminación ambiental.

### 3.1.1 Fertilizante

Por fertilizante se entiende cualquier material orgánico o inorgánico, natural o sintético que suministra a las plantas uno o más de los elementos nutricionales necesarios para su normal crecimiento. [3]

Lo anterior supone que la condición indispensable para que un material se considere como fertilizante es doble: de una parte, debe contener uno o más de los nutrientes esenciales para el desarrollo vegetal y, de otra, la sustancia en cuestión, por su naturaleza y propiedades específicas, debe estar en capacidad de ceder estos elementos a las plantas, es decir, debe contenerlos en estado aprovechable.

## 3.2 Tipos de fertilización

Los fertilizantes se pueden presentar como sólidos o líquidos. La mecanización de su aplicación, obligó que en el diseño de las máquinas, se tengan en cuenta la necesidad de aportar cantidades de fertilizantes que varían enormemente. También es necesario que puedan aplicar diferentes tipos de fertilizantes, que se construyan con mecanismos simples, fiables y robustos, que permitan distribuir el abono uniformemente y que tengan un sistema de regulación fácil y rápido de la dosis deseada. Además, entre los parámetros de diseño de una fertilizadora, hay que tener en cuenta su fácil vaciado y limpieza y su capacidad para soportar la fuerte corrosión que provocan los fertilizantes, siendo el acero inoxidable particularmente el material más adecuado.

### 3.2.1 Fertilización líquida

Este tipo de fertilizantes son aplicados directamente o disueltos en agua, consiguen una rápida efectividad, ya que son absorbidos rápidamente. Pueden aplicarse al cultivo antes o después de la siembra y tienen su origen en materiales químicos u orgánicos. En su presentación, pueden encontrarse en el mercado en forma de suspensiones o mezclas y soluciones.

Las *suspensiones* o *mezclas* están formadas por fertilizante sólido que se ha ido dispersando en un medio líquido.

Las *soluciones* contienen elementos nutritivos disueltos en agua de una forma homogénea, con un origen químico, natural o combinado. Estas soluciones pueden encontrarse de forma normal, sin presión, con uno o varios elementos nutritivos disueltos en el agua, y también en forma de soluciones con presión, que necesitan ser aplicadas por equipos especializados.

En el apéndice A.6 se encuentran algunos ejemplos de máquinas que esparcen fertilizante líquido.

### 3.2.2 Fertilización sólida

Se abordará preferentemente la *fertilización sólida* ya que el equipo es diseñado para este tipo de fertilizantes. [4]

### 3.2.3 Tipos de fertilizantes sólidos

#### Estiércol

El estiércol animal contiene materia orgánica rica que ha pasado a través del sistema digestivo del animal. Esto, a su vez, aumenta la materia orgánica

en el suelo, que tiene numerosos beneficios. Por ejemplo, crean un entorno beneficioso que soporta el crecimiento de los microorganismos del suelo útiles y también ayuda a reducir la erosión del suelo. Estos beneficios aumentan si el estiércol también fue compostado<sup>1</sup> con los residuos orgánicos antes de ser aplicados a la tierra. Aumenta la retención de nutrientes del suelo, mejora la estructura del suelo y es el sistema de fertilización más ecológico. En la figura 3.1 se muestra un tractor arrastrando una abonadora de estas características.



Figura 3.1: Abonadora de estiércol sólido.

### Polvos

El grado de finura puede variar dependiendo del tipo de fertilizante. Es usado tanto en la hidroponía como en el cultivo tradicional y puede aplicarse en forma de polvo o diluido en agua. En la figura 3.2 se observa el aspecto que tiene este tipo de fertilizante.

---

<sup>1</sup>Proceso de transformación de materia orgánica para obtener *compost*, un abono natural.



Figura 3.2: *Fertilizante en polvo.*

### **Granulados**

Su forma (en partículas de 1 a 4 mm) permite una dosificación más precisa. Libera los nutrientes de forma más gradual que un polvo y ayuda a que el manejo sea más cómodo y que la distribución sobre el terreno sea más uniforme. En la figura 3.3 se puede observar el aspecto que tiene este tipo de fertilizante, que además es el que se utilizará en la máquina a diseñar.



Figura 3.3: *Fertilizante granulado.*

### **Macro-granulados**

Constituidos por grandes gránulos, de 10 a 30 mm de diámetro e incluso mayores, producen una liberación progresiva de los elementos nutritivos. En la figura 3.4 se puede apreciar el tamaño de este tipo de fertilizante.



Figura 3.4: *Fertilizante macro-granulado.*

### **Pastillas**

Las pastillas son fertilizantes muy completos y nutritivamente balanceados. Hay de dos tipos: para plantas de flor y de hoja. Estos se colocan manualmente, no es necesario tener maquinaria especial. En la figura 3.5 se observa el aspecto de este tipo de pastillas.



Figura 3.5: *Fertilizante en pastillas.*

### **Bastones**

Los bastones tienen forma de grandes *clavos* de fertilizante concentrado que deben introducirse en el suelo, y así aportan su contenido de forma gradual. También deben colocarse manualmente sin necesidad de contar con maquinaria. En la figura 3.6 se puede observar el aspecto de este tipo de fertilizantes y su forma similar a "estacas" o "clavos".



Figura 3.6: *Fertilizante en bastones.*

En el apéndice A.5.1 se puede consultar más información sobre las características de los fertilizantes sólidos.

### 3.3 Sistemas de distribución

En el mercado de las fertilizadoras para el tipo granulado, se pueden encontrar diferentes clases de equipos. Cada uno de ellos funciona aplicando distintos principios, y por lo tanto los resultados que arrojan también son diferentes. Las clases más utilizadas son las de tipo neumática, de discos y a chorrillo. Si bien todas pueden cumplir con los altos estándares de calidad del mercado de los grandes productores, solo las dos primeras se utilizan en equipos de gran porte.

#### 3.3.1 Distribución neumática

En este tipo de máquinas el trabajo es realizado por un ventilador. Este suele ser conducido mediante una toma de fuerza al motor del tractor.

El fertilizante es almacenado en una tolva que se ubica por encima del ventilador. Sobre el flujo de aire es dosificado el fertilizante y dirigido a una serie de mangueras. Por ellas es transportado hacia los lados y arrojado sobre unas piezas que, al rebotar sobre ellas, lo distribuyen lo más equitativamente posible sobre el suelo. En la figura 3.7 se pueden observar el final de las manguera y las piezas en las que el fertilizante rebota.



Figura 3.7: *Extremo final de las mangueras y deflectores.*

Las principales ventajas que presenta esta configuración es que se puede lograr un gran ancho de labor (existen máquinas que superan los 40 metros) y una excelente distribución del producto. Además es la única que se puede encontrar en el mercado como un equipo autopropulsado, prescindiendo del tractor para su uso. En la figura 3.8 se puede observar una fertilizadora neumática autopropulsada.



Figura 3.8: *Fertilizadora neumática.*

### 3.3.2 Distribución por discos

Esta clase de equipos basa su funcionamiento en la rotación de uno o dos discos que tienen incorporados una serie de deflectores. Este movimiento

también es tomado del cigüeñal del tractor por medio de un cardan.

El fertilizante cae por gravedad desde una tolva hacia el disco, el cual por fuerza centrífuga y la ayuda de los deflectores lo arroja hacia el suelo. Así se logra una distribución asimétrica respecto de la línea de avance del tractor. Es por esto que los diseñadores a la hora de buscar mejorarla, incluyen no uno, sino dos discos que giran en sentido opuesto. En la figura 3.9 se puede observar la parte trasera de una de estas máquinas y se aprecia en detalle los discos y sus respectivos deflectores.



Figura 3.9: *Discos con deflectores.*

Ni el ancho de labor ni la calidad en la distribución alcanzan los valores que pueden lograr las mejores fertilizadoras neumáticas de hoy en día. Sin embargo, son ventajosamente más simples de operar y compactas, lo que agiliza su puesta en marcha, transporte y almacenamiento. En la figura 3.10 se aprecia una fertilizadora de discos, donde se hace evidente su simpleza frente a una del tipo neumática.



Figura 3.10: *Fertilizadora de discos.*

### 3.3.3 Distribución a chorrillo

Las fertilizadoras a chorrillo poseen picos especialmente diseñados para dosificar los granos de fertilizante. Estos picos contienen un eje dentado que, al hacerlo girar, permite el paso del fertilizante. Generalmente este tipo de fertilizadoras vienen en conjunto con una sembradora.

Por lo general presentan tolvas que casi alcanzan el ancho del equipo, que tienen divisiones internas para prevenir que el fertilizante se apile hacia un lado o hacia el otro durante el trabajo. Luego continúa su recorrido hacia los picos dosificadores. El eje dentado es accionado mediante una cadena cinemática por las ruedas de la máquina y permite un paso controlado de fertilizante hacia las mangueras que conducen los granos hasta el suelo. En la figura 3.11 se observa el esquema de un pico de este sistema.

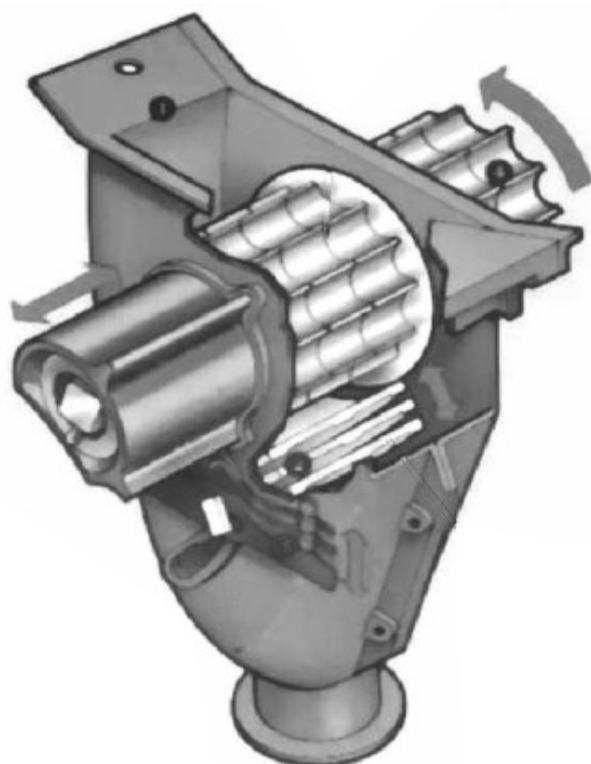


Figura 3.11: *Pico de fertilizadora a chorrillo.*

La principal limitación que tiene este sistema es el ancho máximo de labor cuyo valor rara vez supera los 10 metros. En la figura 3.12 se muestra una sembradora que tiene anexado un sistema de fertilización a chorrillo.



Figura 3.12: *Fertilizadora a chorrillo.*

## Sección 4

# Prediseño - Determinación de requerimientos

## 4.1 Prediseño

En esta sección se desarrollarán las ideas propuestas por el equipo de trabajo que derivarán en un diseño introductorio de cada uno de los sistemas que componen a la fertilizadora.

Estará compuesta por distintos sistemas que deben trabajar en conjunto; estos son: el sistema de distribución, el de dosificación y el de control. Además, cada uno de estos sistemas pueden variar en cuanto a su funcionamiento dependiendo de las características de los elementos que los compongan.

Dentro del sistema de distribución deberemos seleccionar algún tipo y tamaño de tolva, un mecanismo de transporte del fertilizante (que dependerá del tipo de tolva seleccionado), uno de control para asegurar un correcto funcionamiento y los motores que harán posible la movilidad del conjunto.

Un buen sistema de dosificación es crucial para lograr una correcta fertilización. Se deberá definir primero el principio de funcionamiento del mismo, y luego se hará la selección de motores que lo harán funcionar.

Además, todos los sistemas antes nombrados tendrán que ser soportados por una estructura, acoplada a un sistema que permita su traslado, y serán alimentados por sistema eléctrico integrado para brindar energía a todas las partes que lo requieran.

## 4.2 Estructura

La estructura sostendrá todos los otros conjuntos del equipo. Debe respetar características previamente establecidas:

- Ancho de labor de 5 metros
- Despeje de 60 centímetros
- Trocha variable.

En esta instancia de diseño preliminar se determina que los sistemas de distribución y dosificación serán soportados por dos brazos que se extenderán hacia ambos lados del equipo. Ellos pivotarán para permitir plegarlo y facilitar su transporte.

## 4.3 Tolva

Es el recipiente en el que se almacena todo el fertilizante disponible para realizar el trabajo. Debe ser capaz de contener una cantidad suficiente como

## SECCIÓN 4. PREDISEÑO - DETERMINACIÓN DE REQUERIMIENTOS 26

para fertilizar un área considerable de una sola vez, antes de que sea necesario realizar una recarga. Su volumen determinará la autonomía del equipo.

Según lo visto en la investigación previa, generalmente las tolvas se plantean en dos conceptos:

- Tolva ancha, o de ancho similar al de labor.
- Tolva angosta.

### **Tolva ancha**

Con la utilización de una tolva de dimensiones comparables con el ancho de labor del equipo, la alimentación al sistema dosificador se da por acción de la gravedad. En la figura 4.1 se muestra una máquina con estas características.



Figura 4.1: *Máquina con una tolva ancha, similar a su ancho de labor.*

### **Tolva angosta**

Si se utiliza una tolva de dimensiones considerablemente menores al ancho de labor del equipo, se requiere de un sistema auxiliar para conducir el fertilizante a lo ancho del mismo, para luego ingresar al sistema dosificador, el cual controlará la dosis. En la figura 4.2 se muestra una máquina con estas características.



Figura 4.2: Máquina con una tolva angosta, en relación a su ancho de labor.

### Comparación de opciones de tolva

La siguiente tabla enumera características de los dos tipos de tolva planteados

<b>Tolva ancha</b>	<b>Tolva angosta</b>
Trabaja por gravedad	Requiere sistema de distribución
Difícil mantener nivel estable en todo el ancho	Más liviana
Difícil de plegar el equipo	Fácil fabricación
Estructura de mayor complejidad	Facilidad de carga

Tabla 4.1: Comparativa entre los dos tipos de tolva.

### Resultados y conclusiones

Se decide trabajar con un tipo de tolva angosta. La principal ventaja es la facilidad de carga. También resulta en un equipo más liviano, especialmente sobre los brazos de la estructura, que se extenderán hacia ambos lados. Su

diseño final será abordado sobre el final del trabajo, de manera que se adapte a las necesidades de los otros sistemas.

## 4.4 Sistema de distribución

Ya que se optó por una tolva del tipo angosta, es necesario que los granos de fertilizante sean transportados desde su salida y hacia todos los componentes del sistema de dosificación. Para hacer esto se investigaron distintos sistemas de transporte para aplicar al fertilizante, tales como cintas transportadoras planas, con cepillos y con cubas, sistemas neumáticos y tornillos sin fin.

### Transportador de tornillo sin fin

Se determina utilizar como sistema de distribución un *tornillo sin fin* para transportar los granos de fertilizante hacia ambos extremos del equipo, alcanzando todo el sistema de dosificación. Fueron descartados los demás sistemas propuestos por ser el sin fin el más utilizado para tareas de transporte en el rubro. Estos sistemas que suelen ser llamados *chimangos* presentan menores requisitos de mantenimiento y son más sencillos mecánicamente que los otros mencionados anteriormente.

Se diseñará un alojamiento debajo del tornillo sin fin que funcionará de pulmón para almacenar el producto hasta el momento en que el sistema de dosificación lo necesite. De aquí en adelante este recinto será llamado *precámara*. De esta forma se busca que todo el sistema de dosificación tenga en todo momento fertilizante disponible para arrojar al suelo en todo el ancho de labor.

### Exceso de fertilizante en el sistema de distribución

Por momentos la cantidad de fertilizante transportada por los tornillos excederá la demanda del sistema de dosificación. Esta es una situación deseable, a diferencia de una en la que dicha demanda sea parcial o totalmente insatisfecha.

Posibles soluciones a este problema son:

- 1) Diseñar un circuito cerrado de fertilizante, implementando un sistema de recirculación que envíe dicho exceso de nuevo hacia la tolva.
- 2) Diseñar un sistema de control que regule la alimentación para evitar el acumulamiento de fertilizante en los extremos del sistema de distribución.

- **Circuito cerrado**

La tarea de transportar un caudal variable de producto hacia la tolva puede ser llevada a cabo de distintas maneras. Este mecanismo debe elevarlo hacia la parte más alta del equipo. Las posibilidades que se analizan son 3:

- 1) Tornillo sin fin:

De la misma forma en la que los pellets recorren el sistema de distribución, pueden ser devueltos a la tolva mediante el uso de otro tornillo sin fin.

- 2) Cinta transportadora:

Este sistema consiste en que el fertilizante excedente transportado por el sin fin principal sea descargado sobre una cinta transportadora ascendente. Una ventaja con respecto al sistema anterior es que se corre menor riesgo de romper los pellets en el trayecto de vuelta a la tolva. Su complejidad de diseño y mantenimiento es una clara desventaja.

- 3) Sistema neumático:

El exceso de fertilizante puede caer en una corriente de aire en movimiento con dirección a la tolva, generada por un ventilado o soplador de aire. Esta corriente puede ser encausada en una manguera flexible, favoreciendo la simpleza de su diseño y uso. Este sistema no ejerce presión sobre los pellets (como sí lo hace un tornillo sin fin) por lo que se evita también la ruptura de los mismos.

- **Sistema de control**

Esta alternativa conduce a prescindir de un mecanismo que haga recircular el fertilizante hacia la tolva. Haciendo uso de sensores se puede regular el avance de fertilizante cuando la precámara se encuentre llena según la demanda instantánea del sistema de dosificación.

## **Resultados y conclusiones**

De las opciones analizadas se opta por utilizar tornillos sin fin para el sistema de distribución. Su funcionamiento suave y regular satisface los requisitos de este equipo, y no son particularmente caros, como sí pueden ser las cintas transportadoras.

En cuanto al exceso de fertilizante, será regulado con un sistema de control. Los componentes electrónicos necesarios son de bajo costo y logran muy buenas prestaciones. Este se encargará de accionar los tornillos según sea necesario, garantizando que el sistema de dosificación tenga disponibilidad de producto en todo momento.

## 4.5 Sistema de dosificación

Este sistema es el que se encarga de arrojar al suelo una cantidad determinada de fertilizante por unidad de tiempo. Su correcto funcionamiento es crucial para que el proceso de fertilización se asemeje al deseado. Se analizaron tres opciones que se describen a continuación, evaluando sus ventajas y desventajas:

### 4.5.1 Sistema a chorrillo

Este es uno de los sistemas que se pueden encontrar actualmente en el mercado, motivo por el cual se consideró como una primera opción para el diseño.

Consta de una serie de *picos dosificadores* alineados que apuntan hacia la parte posterior de la máquina. Cada uno de ellos contiene un cilindro dentado conducido por un eje. Dentro de las canaletas del cilindro dentado se transportan los granos de fertilizantes desde la parte superior del pico (proveniente de la tolva) hacia el exterior del equipo o hacia una manguera que los conduce al suelo.

#### Dispositivo de ensayo n°1

Se realizó un diseño virtual del dispositivo de ensayo para luego fabricarlo y así poder caracterizar la dosificación de este sistema. La figura 4.3 muestra el prototipo propuesto.



Figura 4.3: *Diseño del dispositivo de ensayo número 1.*

#### SECCIÓN 4. PREDISEÑO - DETERMINACIÓN DE REQUERIMIENTOS 31

Este dispositivo consiste de una tolva para suministrar fertilizante al pico dosificador, un eje para darle el movimiento necesario y una manivela para hacer girar el eje.

Se fabricó el dispositivo de ensayo (figura 4.4) y se realizaron los ensayos correspondientes para poder caracterizar el funcionamiento del sistema.



Figura 4.4: Modelo terminado del dispositivo número 1.

#### Resultados y conclusiones

El ensayo consistió en visualizar la forma y consistencia en la que el fertilizante salía del dispositivo. Se realizaron repeticiones con diferentes velocidades de rotación, lográndose distintos caudales en la dosificación.

Se observó que los granos de fertilizante salieron dañados, producto de que en el espacio entre el cilindro dentado y las paredes del pico dosificador, el fertilizante quedaba atrapado y por acción de la fricción se producía su molienda.

El ancho de influencia que se obtuvo fue de 10 centímetros. Siendo el precio unitario de los picos dosificadores de 15 dólares estadounidenses, para cubrir un ancho de labor de 5 metros serían necesarios 50 picos. Esto representa un costo de 750 dólares.

Teniendo en cuenta que el equipo se utilizará principalmente con fines de investigación, se descartó este sistema de dosificación. Si bien el costo de los

## SECCIÓN 4. PREDISEÑO - DETERMINACIÓN DE REQUERIMIENTOS 32

picos es elevado, la rotura del producto es un factor determinante, ya que esto no corresponde a una debida deposición de los granos.

### Variantes al sistema

Se procedió a modificar el sistema analizado anteriormente. Esto consistió en reemplazar el cilindro dentado por cilindros mecanizados con surcos de manera tal que se busque evitar dañar el fertilizante, como se muestra en la figura 4.5. Los patrones helicoidales que se utilizaron buscaban que el paso de los granos de fertilizante sea suave y que a su vez el mecanizado del cilindro no sea de gran complejidad.

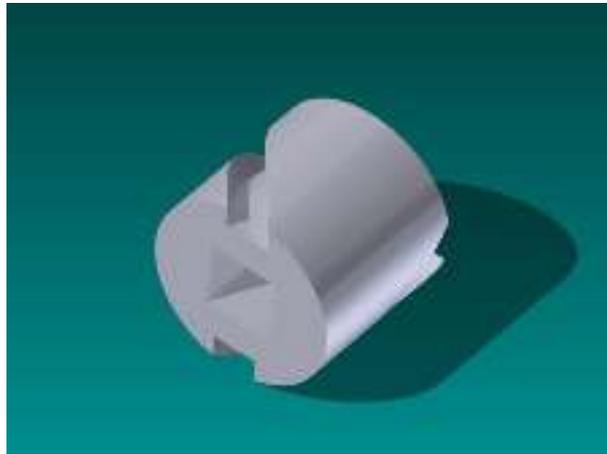


Figura 4.5: *Diseño del cilindro alternativo.*

### Resultados y conclusiones

Una vez realizados los ensayos se observó que los resultados fueron similares a los obtenidos con el cilindro dentado original. Se observó un mayor daño en los granos de fertilizante (figura 4.5), lo cual se pudo ver que estaba directamente relacionado con la cantidad de material cercano a las paredes del pico dosificador lo cual aportaba una mayor área para que la fricción comprima y rompa el fertilizante. Esto fue común en todos los cilindros fabricados para el ensayo, por lo que el sistema fue también descartado.



Figura 4.6: *Fertilizante roto.*

#### **4.5.2 Sistema a cepillo**

A diferencia del sistema anterior, este es un diseño propio del equipo. El elemento principal y el que se encarga de la dosificación del fertilizante es un cepillo dispuesto de forma horizontal. Sobre él se ubica un alojamiento para almacenar fertilizante proveniente de la tolva.

#### **Dispositivo de ensayo n°2**

Para este sistema también se realizó un diseño en computadora para luego fabricarlo y así caracterizar el sistema. La figura 4.7 muestra el prototipo al

cual se propuso llegar.

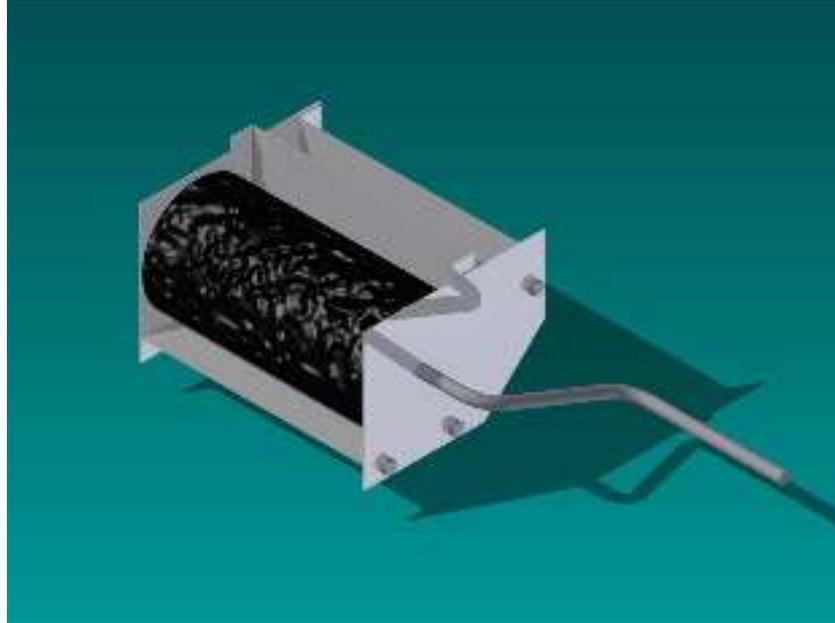


Figura 4.7: *Diseño del dispositivo de ensayo número 2.*

Este dispositivo se compone de una precámara, el cepillo dosificador (de color negro en la imagen 4.7) y un eje con una manivela para realizar la rotación. La precámara presenta una base inclinada para dirigir el fertilizante hacia el cepillo, evitando que se apelmace y comprometa la calidad del trabajo.

Se fabricó el dispositivo utilizando un cepillo que fue elegido por la uniformidad de sus cerdas, algo que supondría tiene relación con una uniformidad en la dosificación. La figura 4.8 muestra el dispositivo en cuestión.



Figura 4.8: *Modelo terminado del dispositivo número 2.*

## Resultados y conclusiones

Luego de haber realizado los ensayos correspondientes se notó que, contrario a lo que paso con los dispositivos anteriores, los granos de fertilizante se encontraban completamente sanos a la salida del cepillo, aunque algunos quedaban atrapados entre sus cerdas.

También se observó que el ancho de influencia se correspondía con el ancho del cepillo cilíndrico, lo que significa que para cubrir el ancho de labor deseado se necesitaría un cepillo de 2,5 metros a cada lado de la máquina.

Dos características negativas de la distribución que se hicieron evidentes fueron que presentó alta dispersión tanto en el ancho de labor como en la cantidad de fertilizante entregado por ensayo. Estas últimas son las razones por las cuales se descarta también este sistema. Su simplicidad de construcción hace que no sea fácil hacer ajustes o correcciones para mejorar su resultado.

### 4.5.3 Sistema a rodillo

Este mecanismo utiliza el principio de funcionamiento del sistema a chorrijo, pero modifica la forma en que se regula el paso de fertilizante.

El sistema se compone de un cilindro macizo de acero inoxidable horizontal al suelo y perpendicular a la dirección de avance de la máquina. Posee

una precámara que se encuentra encima del rodillo mecanizado, el fertilizante cae sobre este y se deposita en las zonas mecanizadas.

El excedente de fertilizante es barrido por los bordes de la precámara, que queda dentro de ésta. Para evitar el daño de los granos y del equipo por abrasión<sup>1</sup> sobre estos bordes, se colocan dos hileras de cerdas sintéticas que cumplan dicha tarea. Ambas descansan parcialmente sobre el eje para evitar filtraciones en todo momento.

### Dispositivo de ensayo n°3

Al igual que con los sistemas anteriores se realizó un modelo computarizado para poder visualizar mejor sus componentes y así poder fabricarlo. En la figura 4.9 se muestra el prototipo al que se pretendió llegar.

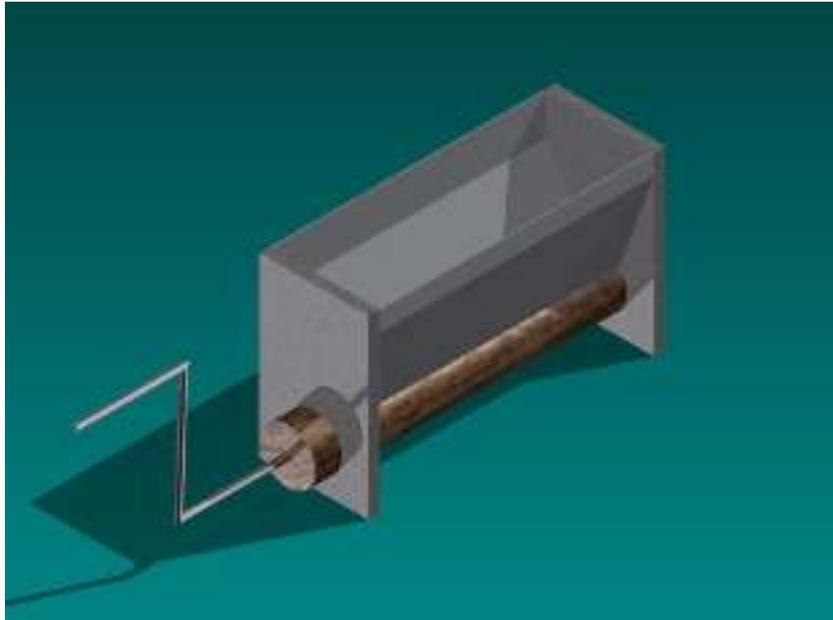


Figura 4.9: *Diseño del dispositivo de ensayo número 3.*

Para poner en funcionamiento este prototipo fue necesario mecanizar cilindros de un diámetro y patrón determinados como se puede observar en la figura 4.10. En este caso utilizamos madera, y se realizaron sobre ellos distintos tipos de agujeros con distintas brocas y profundidades.

---

<sup>1</sup>Desgaste por la acción de partículas o protuberancias duras que son forzadas contra una superficie sólida, y se mueven a través de ella dejando un surco y removiendo material.[5]

SECCIÓN 4. PREDISEÑO - DETERMINACIÓN DE REQUERIMIENTOS 37

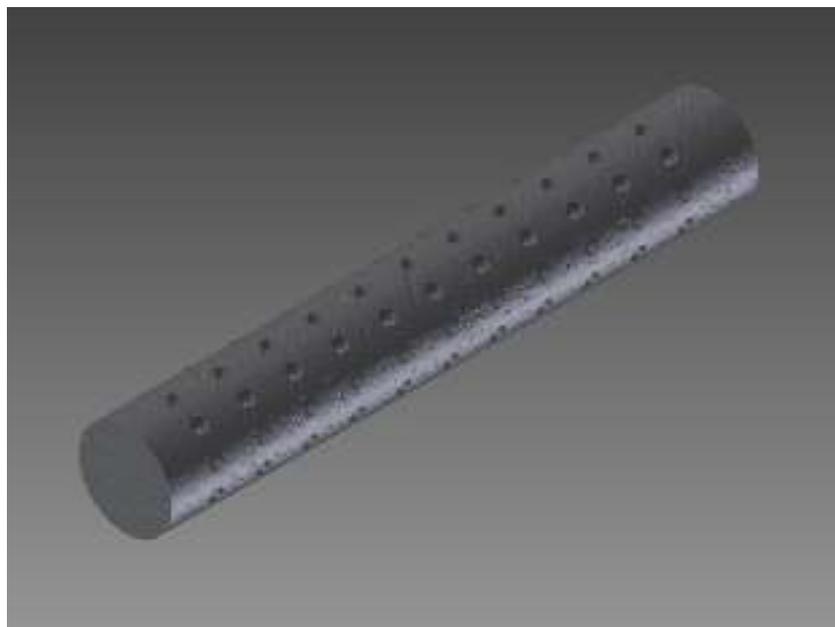


Figura 4.10: *Diseño computarizado del cilindro mecanizado.*

En las figuras 4.11 y 4.12 se muestra el prototipo de dispositivo de ensayo fabricado.



Figura 4.11: *Modelo terminado del dispositivo número 3.*

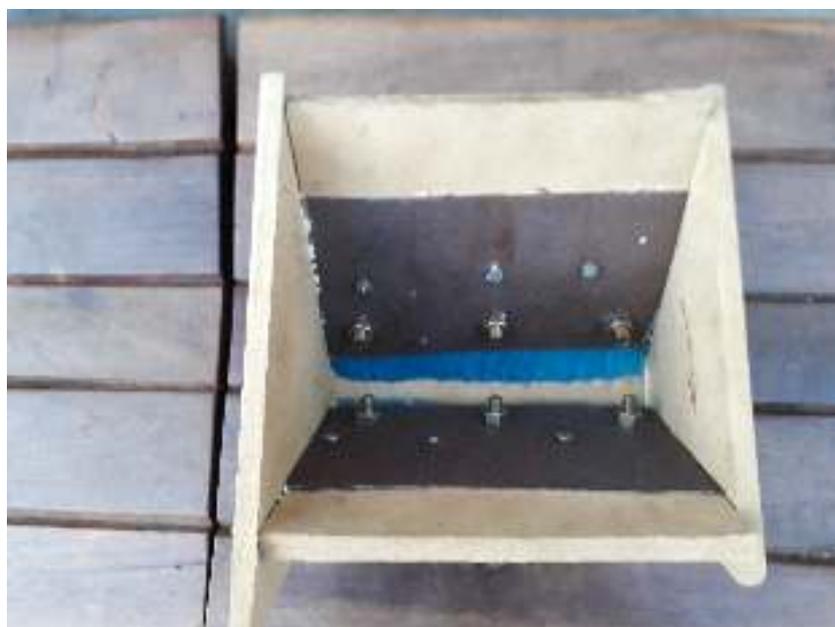


Figura 4.12: *Modelo terminado del dispositivo número 3 (vista superior)*

### Resultados y conclusiones

Los resultados de los ensayos fueron altamente satisfactorios. En primer lugar, ni el fertilizante ni los componentes del equipo mostraron daño alguno luego de su funcionamiento. Su movimiento fue suave y no produjo grandes vibraciones. Un análisis cualitativo de la distribución obtenida sobre el suelo sugiere que guarda un buen grado de uniformidad.

Se realizaron 10 ensayos de 10 vueltas cada uno, bajo las mismas condiciones iniciales:

Nº ensayo	Gramos
1	31,4
2	34,5
3	32,4
4	33,8
5	32,1
6	32,7
7	32,0
8	33,0
9	32,9
10	33,5
Promedio	32,8
S	0.92

Tabla 4.2: Resultados de los ensayos del dispositivo nº 3.

Como se puede ver en la tabla 4.2, este sistema muestra un muy buen control sobre la dosificación. Se observó que, a medida que el rodillo giraba, solo salía el fertilizante contenido en las perforaciones. Esto sugiere, además, que los cepillos cumplieron satisfactoriamente su función.

## Sección 5

# Prototipo y ensayos

## 5.1 Diseño computarizado

El alcance del proyecto incluye la construcción de un prototipo cuyo funcionamiento sea representativo del equipo que se está diseñando. Su objetivo es verificar el correcto funcionamiento de todos sus sistemas.

El primer paso es el diseño preliminar computarizado. De aquí se obtendrán las medidas y disposiciones de los elementos que lo compongan.

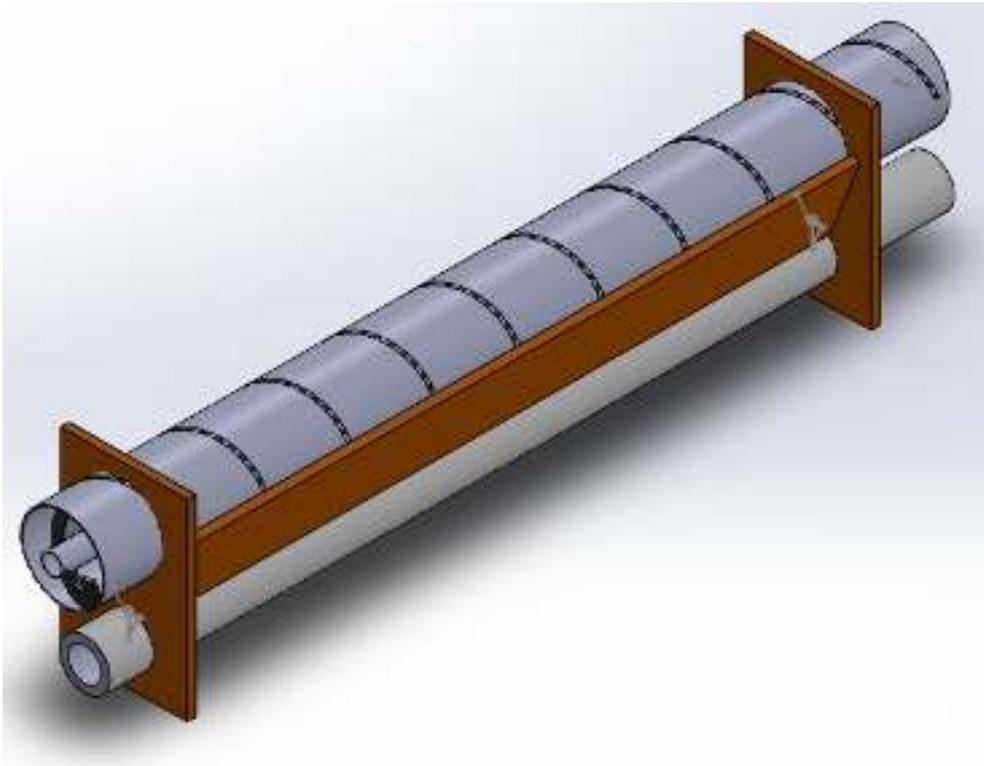


Figura 5.1: *Diseño computarizado del prototipo.*

## 5.2 Fabricación

### 5.2.1 Estructura

Se fabricará con perfilera de acero de 30 x 15 mm. Estos perfiles brindan la robustez suficiente como para que el prototipo opere correctamente.

### 5.2.2 Precámara

Se fabricará con placas de madera de 15 mm de espesor, por más que no sea un material adecuado para el equipo real. Aunque su resistencia estructural es más baja que la del acero, también lo serán las solicitaciones que deberá soportar. Por otro lado, la madera presenta la ventaja de ser fácil de trabajar y manipular.

### 5.2.3 Rodillo dosificador

Este es un elemento de suma importancia para el correcto funcionamiento del equipo, por lo que, para que el prototipo sea representativo del equipo final, tanto el material como diseño elegidos serán iguales a los originales.



Figura 5.2: *Rodillo mecanizado.*

### 5.2.4 Cepillos

Fueron adquiridas dos tiras de cepillos en un distribuidor con sede en la ciudad de Buenos Aires. Su selección fue restringida por la disponibilidad del proveedor, por lo que se seleccionaron los cepillos haciendo un análisis cualitativo en cuanto a la dureza de sus fibras.



Figura 5.3: *Cepillo utilizado en el prototipo.*

### 5.2.5 Bancadas del rodillo

Para fabricar los apoyos sobre los que deslizaría el rodillo dosificador se recurrió a la solución más económica, ya que esta no afectaría al desempeño del prototipo. Ellos consisten en caños de acero con un diámetro interior 61mm, tal que quede un huelgo de 0.5mm con el rodillo.

El equipo poseerá dos de estos apoyos, uno pasante para traccionar el rodillo y otro cerrado en el extremo opuesto.

### 5.2.6 Sistema de accionamiento

Para transmitir potencia al rodillo dosificador se utilizó un motor de levanta vidrios de automóvil que trabaja con una tensión de 12 VCC. Se le anexaron tres coronas de bicicleta y otras tres al rodillo brindando así una amplia gama de relaciones de transmisión posibles. Haciendo uso de ellas y a su vez variando las RPM a las que gira del motor, se pudo ensayar el prototipo trabajando a diferentes velocidades.

Este conjunto se adosó a una sencilla estructura de acero para brindarle rigidez y estabilidad a la hora de funcionar.



Figura 5.4: *Sistema de transmisión.*

## 5.2.7 Sistema de control

### Introducción

La tarea de este sistema es controlar la velocidad de rotación del rodillo. Para ello se utilizó una placa computadora capaz de variar la tensión que recibe el motor y así, sus RPM instantáneas. De esta forma y a través de la cadena cinemática explicada en 5.2.6. Una *Placa Computadora* es una computadora completa en un sólo circuito. El diseño se centra en un sólo microprocesador con una memoria RAM, entradas, salidas y todas las demás características de un computador funcional contenidas en una sola tarjeta que suele ser de tamaño reducido. Este tipo de placas es ideal para aplicaciones sencillas, en especial las que no trabajen con elementos de alta potencia.

### Módulo Arduino

Arduino es una compañía *open source* y *open hardware* que diseña y fabrica placas de desarrollo de hardware para construir dispositivos digitales e interactivos que puedan sensar y controlar objetos del mundo real. Esta compañía se enfoca en acercar y facilitar el uso de la electrónica y programación de sistemas embebidos en proyectos multidisciplinarios. [6]

Gracias a ellas se pueden comandar con facilidad motores de corriente continua bajo el principio del *pulse width modulation* o PWM por sus siglas en inglés. Este método permite controlar la energía que se les envía y de esta forma las RPM a las que giran, sin suponer un desaprovechamiento energético (a diferencia de los métodos que utilizan resistencias para lograrlo). Las placas fraccionan este parámetro, que puede tomar valores desde 0 (apagado) hasta 255 (no hay pulsos, es corriente continua regular). Para poder controlar la velocidad de rotación es necesario un accesorio compatible con el controlador Arduino que permita trabajar con PWM. Para este prototipo se utilizó una placa *Monster Moto Shield*, que es capaz de controlar hasta dos motores de 12 VCC que consuman hasta 10 A cada uno.



Figura 5.5: *Placa Monster Moto Shield.*

### Selección de motores

Se analiza la utilización de motores que posean un torque elevado y que además funcionen con un voltaje de 12 [V] para asegurar la portabilidad. Por esta razón se decidió ensayar un motor de levanta vidrios de un automóvil, que funcionan con esa tensión y consume una corriente de entre 6 y 7 [A].

Se realizó un barrido con distintos valores de PWM para hallar la curva de velocidad de rotación que ofrece el motor. El resultado es el gráfico 5.6 y sus valores son de suma importancia para conseguir las RPM que deriven en la dosis correcta de fertilizante. Cuando se lo alimenta con la máxima señal que puede enviar la placa Arduino (valor de PWM: 255) el motor desarrolla 80 RPM.

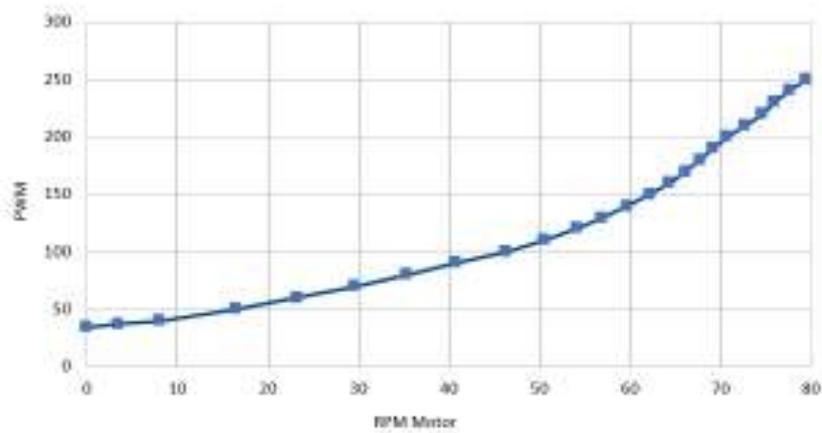


Figura 5.6: *RPM del motor vs PWM del controlador.*

### Montaje

Para facilitar el transporte y uso del sistema de control del prototipo, todos los componentes se adosaron a una compacta y sencilla estructura de madera. Para permitir su funcionamiento se agregó una fuente de alimentación de 12V / 8A.

Las imágenes 5.7 y 5.8 muestran el sistema de control terminado.



Figura 5.7: *Sistema de control con su fuente de alimentación.*

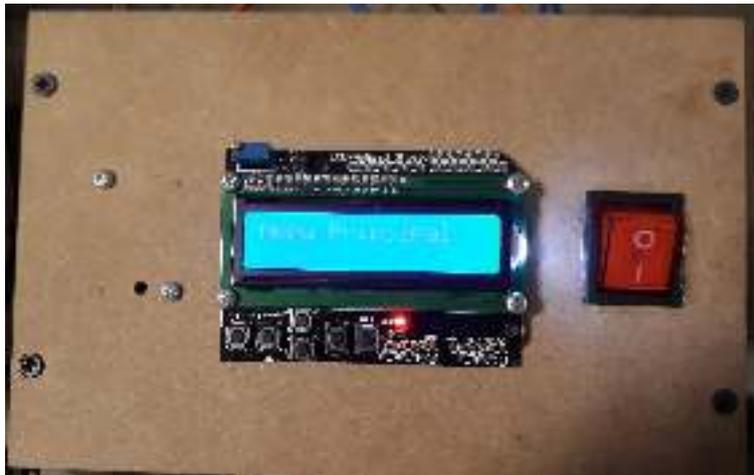


Figura 5.8: *Sistema de control (vista frontal).*

### 5.2.8 Prototipo terminado

Una vez realizado el ensamble de todos los subconjuntos, el equipo se ve como en las imágenes 5.9, 5.10 y 5.11.



Figura 5.9: *Prototipo terminado, imagen 1.*



Figura 5.10: *Prototipo terminado, imagen 2.*



Figura 5.11: *Prototipo terminado, imagen 3.*

## 5.3 Ensayos

### 5.3.1 Calibración

Una vez construido y puesto en marcha el prototipo, se debe verificar su correcto funcionamiento. Para ello se llevaron a cabo dos series de mediciones:

#### Medición de dosificación a lo ancho

Como primera medida se decide comprar 12 cajas pequeñas (de medidas 110x70x30mm) para recolectar el fertilizante que arroje el equipo cuando se haga girar el rodillo.



Figura 5.12: Ubicación de las cajas recolectoras.

Se realizaron 3 ensayos en los que se hizo girar el rodillo 8 vueltas completas a velocidad constante. Luego se pesó el contenido de cada una de las cajas. A la hora de plasmar los resultados obtenidos, se desestimaron las dos cajas de los extremos por verse ellas afectadas por condiciones de contorno inciertas. Debido a la geometría del prototipo, no recibían fertilizante bajo las mismas condiciones que lo hacían las ubicadas más hacia el centro del equipo. Dichos resultados se pueden ver en el gráfico 5.13:

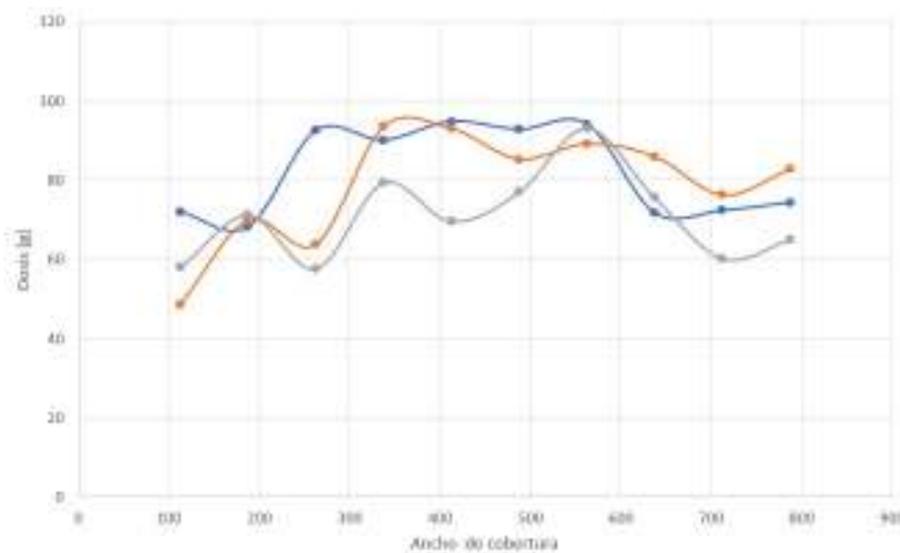


Figura 5.13: Gramos vs Ancho de cobertura.

Estos resultados dejan en evidencia que la máquina no otorga una dis-

tribución tan homogénea de fertilizante como es deseada. Esto se puede aludir al bajo presupuesto, los métodos de fabricación y herramientas artesanales utilizadas para construir el prototipo. Es por esto que se decide realizar ciertos ajustes para mejorarla. Consisten principalmente en agrandar levemente algunos de los agujeros que se ubican en las zonas donde la dosificación es menor. Se trabajaron los intervalos previo a los 300mm y posterior a 600mm.

Para la fabricación de este rodillo serán utilizadas tanto herramientas como técnicas más precisas y de mejor calidad por lo que la dimensión de las zonas de dosificación será controlada con mucha mayor precisión que en este prototipo.

Este procedimiento se alternó con ensayos para paulatinamente acercarse a una distribución más acorde al objetivo del proyecto: *la más homogénea posible*.

Luego de varias iteraciones, se logró una distribución como la mostrada en el gráfico 5.14:

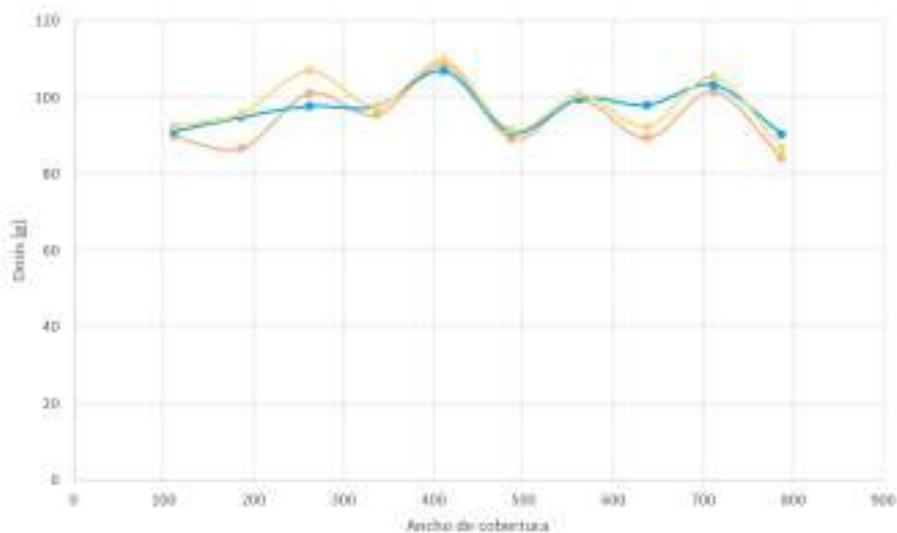


Figura 5.14: Gramos vs Ancho de cobertura.

### Medición a distintas RPM

Esta segunda medición consistió en verificar cómo varía la entrega de fertilizante por vuelta conforme aumenta la velocidad de rotación del rodillo. Se realizaron 10 ensayos de 5 vueltas completas cada uno. Los resultados se pueden ver en la tabla 5.1:

RPM rodillo	Dosis [g] 5 vueltas	Dosis [g] por vuelta
2	521,0	104,2
6	501,1	100,2
10	511,1	102,2
16	504,9	100,9
22	509,6	101,9
30	525,0	105,0
40	529,5	105,9
50	504,7	100,9
60	506,6	101,3
70	512,5	102,5
$\bar{x}$	-	102,5
S	-	3,3

Tabla 5.1: Resultados del ensayo de dosificación.

De estos valores se puede determinar que la velocidad de rotación del rodillo no compromete la dosificación instantánea, por lo que el equipo siempre entregará la misma cantidad de producto por vuelta. Este será un valor muy importante que tendrá en cuenta el sistema de control a la hora de determinar las RPM del motor que traccione el sistema de dosificación.

### 5.3.2 Ensayos según Norma IRAM 8041

Para ensayar el prototipo se hizo una adaptación de la norma *IRAM 8041 Parte I* (detallada en el Apéndice C), la cual trata sobre distribución de fertilizantes al voleo. Esta primera parte de dicha norma es la que mejor se adapta al tipo de máquina en cuestión ya que, en la segunda parte, trata la fertilización en hileras o enterrados. Tiene como objetivo establecer los métodos de ensayo de las distribuidoras de fertilizantes al voleo, por proyección y por descarga, que empleen fertilizante sólido.

Con estos ensayos se puede tanto evaluar cualitativamente las prestaciones de las distribuidoras como también investigar el comportamiento de maquinarias para evaluar la idoneidad de los diseños.

Para realizar los ensayos, el equipo se dispondrá en posición horizontal sobre el suelo y con las cajas recolectoras por debajo, como lo indica la imagen 5.12. La norma divide los ensayos propuestos en dos grupos: los *estáticos* y los *dinámicos*. Sólo se realizarán los primeros, por ser los del segundo conjunto de mayor complejidad y cuya realización.

**Dosificación**

El primer ensayo propuesto por la norma consiste en hacer funcionar el prototipo por no menos de un minuto, recolectar todo el fertilizante arrojado y luego pesarlo. Se debe repetir el procedimiento al menos tres veces (apéndice C.2).

Por razones constructivas, no se podrá hacer funcionar el prototipo tanto tiempo, por dificultarse la recolección de todo el fertilizante que arrojaría en un minuto. El parámetro del ensayo será entonces de 6 vueltas completas del rodillo dosificador.

Se realizaron 10 ensayos y los resultados se pueden observar en la tabla 5.2 y el gráfico 5.15:

Repetición	Dosis [g]
1	751,3
2	746,1
3	801,1
4	819,0
5	802,8
6	804,1
7	751,9
8	803,2
9	805,2
10	809,6
$\bar{x}$	789,4
S	26,4

Tabla 5.2: *Resultados del ensayo de dosificación.*

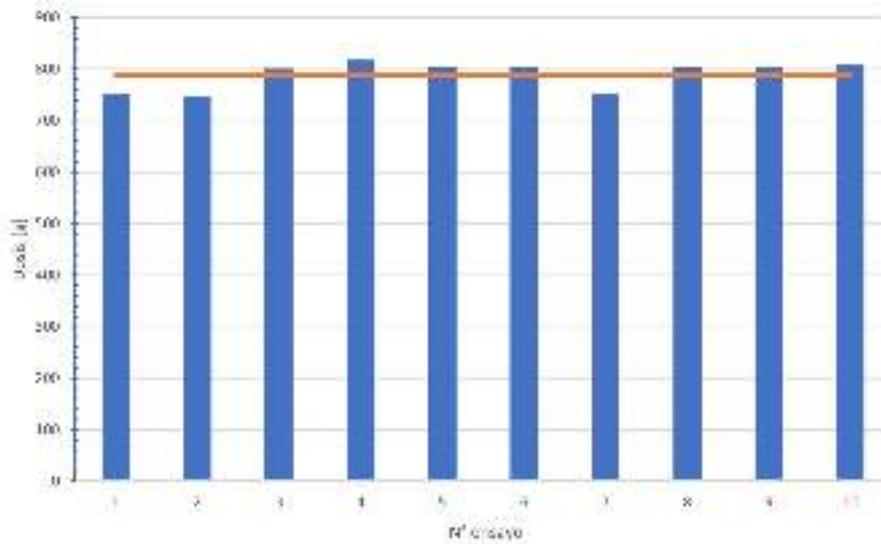


Figura 5.15: *Ensayo de dosificación.*

En este gráfico se ve que el nivel de repetitividad que logra el equipo es satisfactorio. Puede apreciarse en color naranja el valor del promedio de las muestras, notándose que ninguna de ellas se aleja mucho de dicho valor. Que la desviación estándar esté por debajo del 5% del valor de la media (3,3%) es un indicador estadístico de una buena uniformidad.

### **Efecto del nivel de la tolva**

Este ensayo pretende determinar la influencia en la dosificación de la porción de tolva llena de fertilizante durante el trabajo. (Apéndice C.3). Las condiciones bajo las que se realiza son cuatro:

- Tolva llena
- 1/2 de su capacidad
- 1/4 de su capacidad
- 1/8 de su capacidad

Repetición	Dosis [g]			
	Completa	1/2	1/4	1/8
1	619,6	559,6	462,3	353,3
2	623,6	567,4	461,6	372,7
3	625,1	581,6	458,2	365,1
$\bar{x}$	622,8	569,5	460,7	363,7

Figura 5.16: Resultados del ensayo del nivel de la tolva.

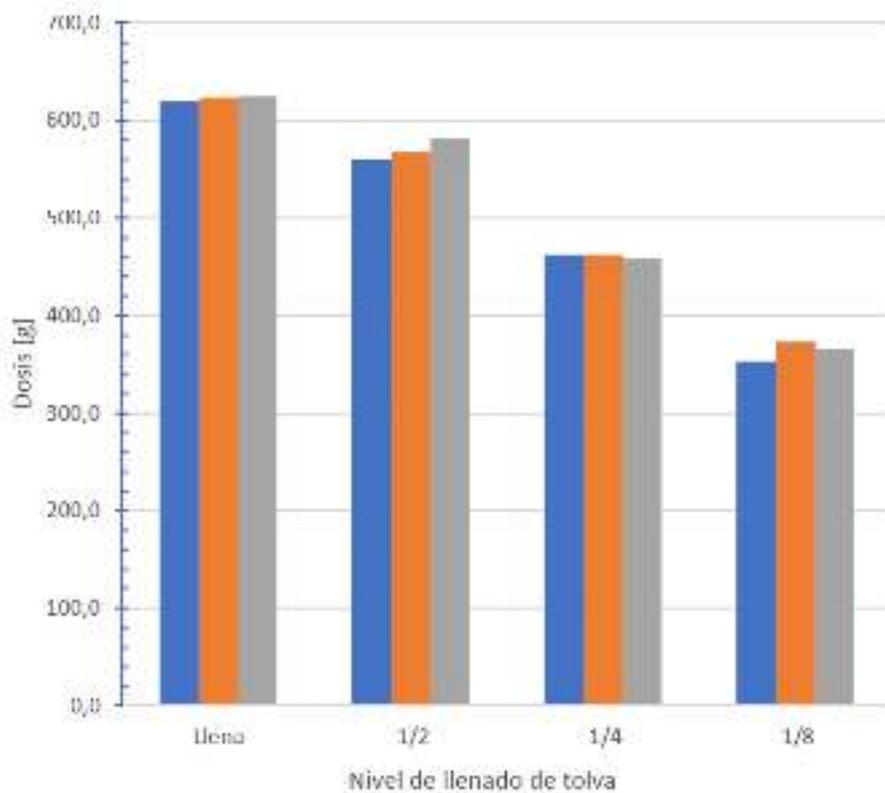


Figura 5.17: Ensayo del nivel de tolva.

Los resultados indican que el nivel de la tolva afecta sustancialmente la dosificación entregada. Es por esto que el sistema de distribución debe ser capaz de exceder la demanda del de dosificación y mantener la precámara llena en todo momento.

Este ensayo deja en evidencia también la ventaja de haber elegido una

tolva de tipo angosta para el equipo (sección 4.3). De haber elegido una de tipo ancha, se vería comprometido el trabajo del equipo conforme vaya bajando el nivel de producto en ella.

### Distribución transversal

El tercer y último ensayo estático propuesto busca expresar gráficamente la curva de distribución de fertilizante en el ancho de labor, esto es, evidenciar cuánto producto queda depositado sobre cada hilera del suelo luego del paso del equipo (Apéndice C.4).

La información que otorga este ensayo es de crucial importancia para determinar si estamos o no en presencia de un sistema que puede cumplir satisfactoriamente la tarea de fertilizar una parcela de forma homogénea.

En este caso la norma dice que debe realizarse un único ensayo. Los resultados del mismo se pueden observar en la tabla 5.3 y el gráfico 5.18:

N° bandeja	Masa [g]	Masa [% Promedio]
1	69,2	92,1
2	73,3	97,6
3	77,5	103,2
4	80,7	107,4
5	77,4	103,0
6	74,6	99,3
7	77,7	103,4
8	72,2	96,1
9	78,4	104,4
10	70,3	93,6
$\bar{x}$	75,1	-
S	3,6	-

Tabla 5.3: Resultados del ensayo de distribución transversal.

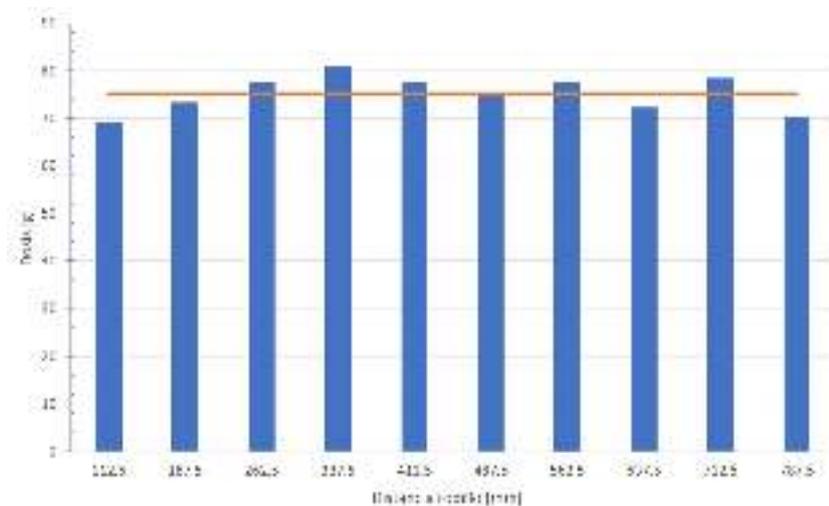


Figura 5.18: *Ensayo de distribución transversal.*

En color naranja se trazó una recta indicando el valor de la media aritmética de las muestras, cuyos valores son muy similares. Aquí se ve que la parcela estaría recibiendo una cantidad muy uniforme de producto en todo el ancho de trabajo del equipo, tal y como es deseado. Para este ensayo la desviación estándar también se mantuvo por debajo del 5% del valor de la media (4,8%), lo que indica que las diferencias entre ésta última y las muestras se mantuvieron en valores muy bajos.

Otro análisis que se tuvo en cuenta, ya fuera de la norma *IRAM*, fue el realizado por el Dr. Ing. Walter Carciochi y el Ing. Santiago Tourn en el documento *Fertilizantes y Fertilizadoras* [7]. Realizaron un ensayo de este tipo pero los resultados se analizaron de otra forma. El valor de referencia es la cantidad máxima de fertilizante que haya sido captado por alguno de los recipientes receptores. Es en base a dicho valor que se grafican las demás cantidades. Además, se trazan dos rectas que están 30% por encima y por debajo del valor del promedio de las mediciones de las cajas colectoras (figura 5.19). Se pretende que, luego de una correcta calibración del equipo, las mediciones se circunscriban dentro de dichas rectas, es decir, que ninguna hilera de la parcela reciba una cantidad de fertilizante que difiera más allá de un 30% con la media.

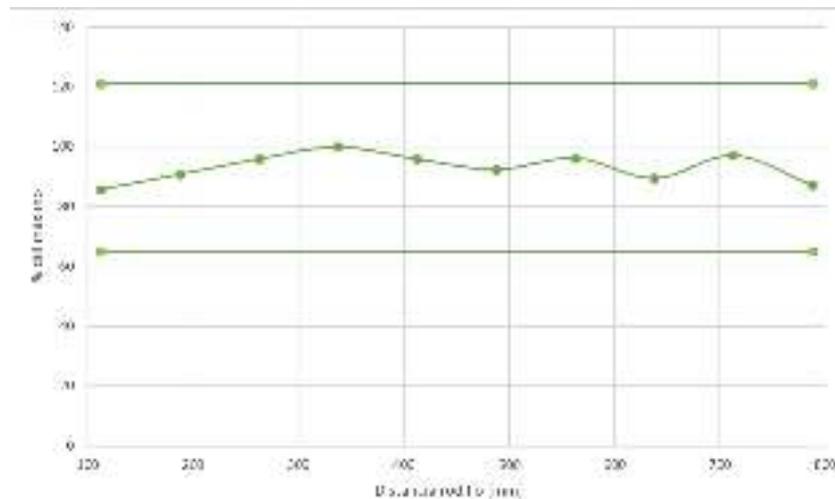


Figura 5.19: *Distribución transversal con referencias al valor de la media.*

Se puede observar que, para este equipo en particular, se cumplió la homogeneidad deseada en la distribución. Ninguna de las cajas colectoras recibió una cantidad de fertilizante que se aparte más allá de un 30% del valor de la media. La medición que estuvo más alejada, lo hizo por un 8% por debajo de ella.

## 5.4 Conclusiones

La fabricación de un equipo que representa en gran parte el funcionamiento de la fertilizadora fue una de las etapas de mayor importancia del proyecto. La misma tuvo como objetivo principal poder realizar los ensayos detallados en la norma *IRAM* para verificar el correcto funcionamiento del sistema dosificador. Sin embargo, fue de utilidad para determinar algunos aspectos del diseño final.

Fueron definidos algunos detalles de diseño y de concepto, tales como el agarre de los cepillos longitudinales, el huelgo de los bujes de bronce y el volumen de la precámara. También se pudo constatar que se puede mejorar la calidad del trabajo seleccionando cerdas de mayor sección, o mayor dureza, para evitar que se filtren pellets entre ellas durante el funcionamiento.

Del prototipo se aprendió también que la velocidad de rotación del rodillo dosificador no compromete la dosis entregada, y que el proceso de calibración es necesario y simple de llevar a cabo.

## Sección 6

### Diseño

## 6.1 Diseño final

En esta sección se determinarán los materiales y componentes que compondrán cada subconjunto de la fertilizadora. Esto incluye tanto los comerciales como los que deban ser fabricados.

## 6.2 Sistema de distribución

Como se optó por utilizar una tolva angosta, es necesario trasladar el fertilizante a lo ancho del equipo. Para realizar esta tarea se utilizará un transportador de tornillo sin fin de acero (figura 6.1), el cual se encargará de mantener, en todo momento, el ancho de labor con fertilizante.

### Transportador

Se procedió al cálculo de las dimensiones del tornillo transportador y la potencia teórica según el método que se encuentra en el apéndice E.1.

En la tabla 6.1 se muestran las dimensiones resultantes.

Variable	Valor
Diámetro externo	100 mm
Diámetro eje	1"
Paso	100 mm
Longitud	2500 mm
Espesor	2 mm
Diámetro carcasa	4"

Tabla 6.1: *Tabla con las dimensiones del transportador.*

Con proporcionar la información de la tabla 6.1 a un taller fabricante de tornillos transportadores es suficiente para su fabricación. El proveedor contactado aconsejó utilizar medidas estandarizadas para facilitar tanto su fabricación como su montaje. Tanto el caudal requerido como el diámetro de la carcasa influyeron en la determinación del diámetro del helicoide.

Según la dosificación deseada por el usuario, el sin fin girará a 3 valores de RPM distintos que se corresponden con un caudal apropiado de fertilizante. Para esto se toman valores de entre 0 y 100 Kg/ha, entre 100 y 250 Kg/ha y entre 250 y 400 Kg/ha. Se calcula el caudal máximo dosificado en cada rango a velocidad máxima de avance (18 Km/h). Las RPM asociadas a cada

intervalo aseguran un exceso de 10% de producto movido por el tornillo sin fin (apéndice E.1):

- Dosificación de hasta 100 Kg/ha: 0,125 Kg/s. RPM del sin fin: 50. Corresponde a un caudal de 0,137 Kg/s.
- Dosificación de hasta 250 Kg/ha: 0,313 Kg/s. RPM del sin fin: 125. Corresponde a un caudal de 0,343 Kg/s.
- Dosificación de hasta 400 Kg/ha: 0,500 Kg/s. RPM del sin fin: 200. Corresponde a un caudal de 0,550 Kg/s.

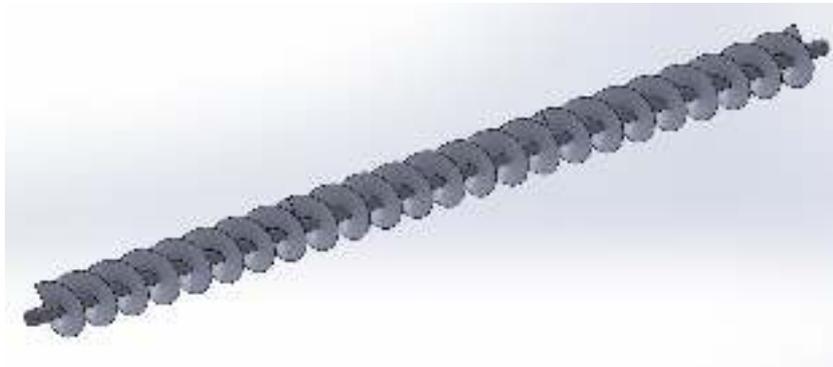


Figura 6.1: *Modelo en CAD del tornillo sin fin.*

## Montaje

El sin fin calculado se montará sobre dos rodamientos ubicados en sus extremos. Ellos irán alojados en cajas portarodamiento, abulonadas a las tapas laterales de la carcasa del sistema distribuidor.

El cuerpo de la carcasa del sistema consiste en un caño de 4" (espesor 2mm) de diámetro interior al cual se le soldarán dos chapas de mismo espesor, como se ve en la figura 6.2. La parte inferior del caño presentará una ranura por donde caerá el fertilizante a la precámara. La parte superior se montará sobre cuatro bisagras que permitirán su apertura para facilitar el acceso y limpieza del equipo. A su vez, la misma tapa se podrá desmontar con el objetivo de ser utilizada como bandeja colectora para realizar el vaciado de la precámara. Para llevar a cabo esta tarea se dispondrá de un juego secundario de bisagras para sostenerla.

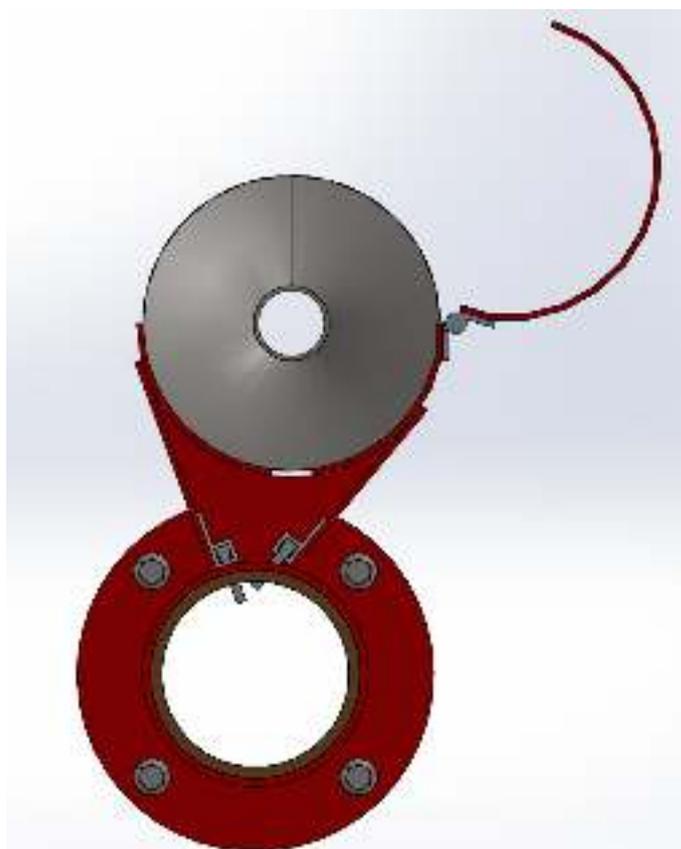


Figura 6.2: *Carcasa del sistema de distribución, vista lateral.*

Por otro lado la carcasa presentará dos tapas laterales donde irán montadas las cajas portarodamientos. Estas tapas tendrán realizadas ranuras para permitir el montaje del tornillo sin fin, como lo muestra la imagen 6.3.

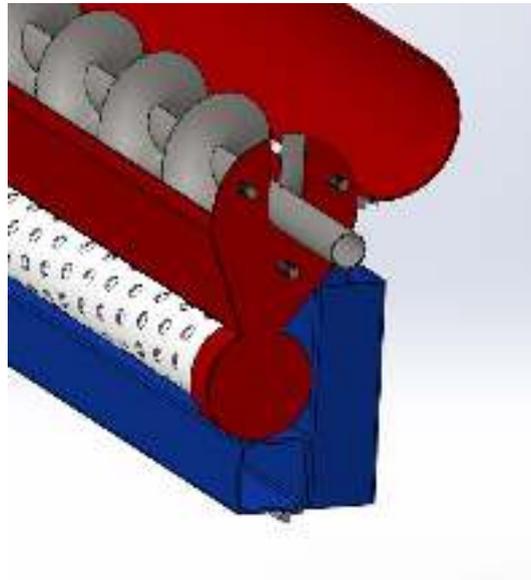


Figura 6.3: *Extremo del sistema de dosificación.*

### Diseño final del conjunto

El sistema distribuidor terminado se presenta en la figura 6.7, junto con dosificador.

## 6.3 Sistema de dosificación

A partir de los ensayos realizados en la sección 4.5 se decidió utilizar el sistema de rodillo, ya que mostró los mejores resultados tanto en distribución como en repetitividad.

### 6.3.1 Cilindro dosificador

Se analizan una serie de modificaciones respecto a lo propuesto en la sección 4.5.3 con las ideas de mejorar la salida del fertilizante y disminuir los costos de fabricación.

Se propuso mecanizarle al cilindro agujeros con desfasaje de  $10^\circ$ , formando una helicoide a lo largo del rodillo (figura 6.4). Se estudió además la posibilidad de no agregar un eje sino que los rodillos asienten sobre una serie de bujes. Para su fabricación se utilizarán cilindros huecos de polipropileno, el cual presenta buena resistencia a la corrosión que puede producir el fertilizante. Además posee una baja densidad ( $946 \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$ ), por lo que es más

liviano, económico y fácil de traccionar que otros materiales del rubro. Estas barras plásticas se comercializan con una longitud máxima de 1 metro. Estarán montadas sobre bujes y serán traccionadas desde un extremo.

Cada rodillo tendrá una longitud final de 800mm, su diámetro exterior será de 60mm y el interior 40mm. Tendrán mecanizadas un total de 288 perforaciones de 5mm de profundidad, haciendo uso de una broca de 11mm.



Figura 6.4: Modelo en CAD del rodillo mecanizado.

### 6.3.2 Apoyos

Dado que el equipo tendrá 3 rodillos dosificadores coaxiales a cada lado, se deben diseñar uniones para los mismos. Para ellos se recurre al mismo material (polipropileno) por las ventajas que brinda. Las uniones deberán transmitir tracción de un rodillo a otro y a su vez servirán de apoyo en las bancadas (6.5). Sus componentes son:

- Un macizo de diámetro 40mm provisto de un chavetero externo. Longitud: 125mm.
- Una barra hueca de diámetro exterior 62mm e interior 40mm. Estará provista de un chavetero interno. Longitud: 25mm.
- Una chaveta de acero cuadrada de 6mm de lado. Longitud: 65mm.

Estas uniones al ser de mayor diámetro que los rodillos, funcionarán como fusibles ante la presencia de desgaste por rozamiento.



Figura 6.5: *Pieza de acople entre rodillos.*

En los extremos los rodillos descansarán sobre conjuntos similares al anterior. Solo se diferencian en que la barra maciza de diámetro 40mm será solo de 75mm de longitud, y el conjunto se verá como en la figura 6.5:



Figura 6.6: *Extremo del sistema de dosificación.*

Las bancadas consisten en bujes de bronce *SAE 65*, de diámetro interior 63mm, exterior 70,6mm y longitud 25mm. La diferencia radial entre ellas y las uniones descritas anteriormente conforman el huelgo necesario para que su funcionamiento sea suave y liviano. Dicho huelgo se determinó experimentalmente a partir de la linealidad presentada por las uniones. Estas piezas se pegarán a portabujes como los que se describen a continuación:

Los portabujes serán contruidos a partir de caños de acero de diámetro interior 70,6mm, exterior 76,2mm (3" y espesor 2,8mm) y longitud 35mm, los cuales una vez montados y alineados los bujes, serán soldados a la estructura del sistema dosificador. La diferencia de longitud que presentan con los bujes de bronce tiene como objetivo contener cepillos que evitarán que el fertilizante se introduzca en los huelgos mencionados.

El equipo contará con un total de 4 uniones de rodillo y 4 extremos (2 a cada lado). Todos ellos descansarán sobre bancadas.

### 6.3.3 Cepillos

Los cepillos necesarios para completar el sistema de dosificación son del tipo *longitudinales*. Se comercializan en tiras de un metro de largo, con cerdas de distintos materiales y durezas. Para este equipo se seleccionan cepillos de cerdas sintéticas de 15 mm de longitud. Estos componentes se encontrarán también en los portabujes.

#### Diseño final del conjunto

El sistema dosificador terminado se presenta a continuación:



Figura 6.7: Modelo en CAD de los sistemas distribuidor y dosificador.

## 6.4 Tolva

Teniendo en cuenta las características analizadas en la sección 4.3, se optó por utilizar una tolva del tipo angosta. A pesar de necesitar un sistema extra para operar (de distribución), un análisis completo sugiere que son mayores sus ventajas que sus desventajas.

Su fabricación es más sencilla y económica, su peso menor y el fertilizante queda concentrado cerca del centro del equipo, lo que deriva en una estructura más liviana y estable.

El material seleccionado para su fabricación es acero, ya que es más económico y fácil de soldar que el acero inoxidable. Este deberá ser pintado con pintura epóxica para evitar su corrosión por el contacto con el fertilizante.

El volumen de fertilizante que podrá contener será tal que, al fertilizar con la máxima dosificación de diseño alcance a cubrir media hectárea sin que sea necesario realizar una recarga. Esto da como resultado una tolva con

capacidad para *300 litros* de fertilizante. No obstante los mismos están divididos en dos recintos incomunicados, para permitir el uso de dos fertilizantes distintos a la vez.

Para su fabricación se divide al conjunto en piezas más sencillas. Las operaciones necesarias para su realización serán: el corte de las mismas, ya sea por *waterjet* o *laser*, el plegado y el soldado.

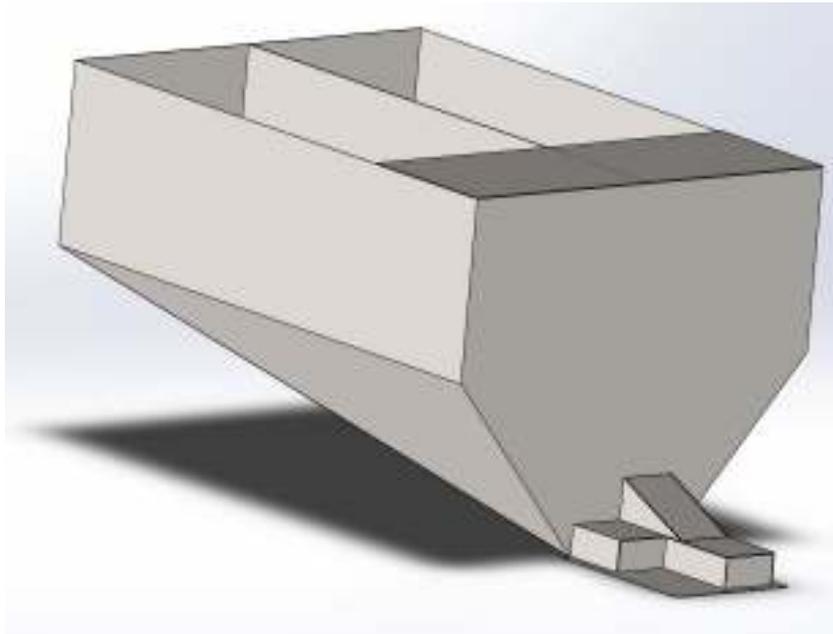


Figura 6.8: *Modelo en CAD de la tolva, imagen 1.*

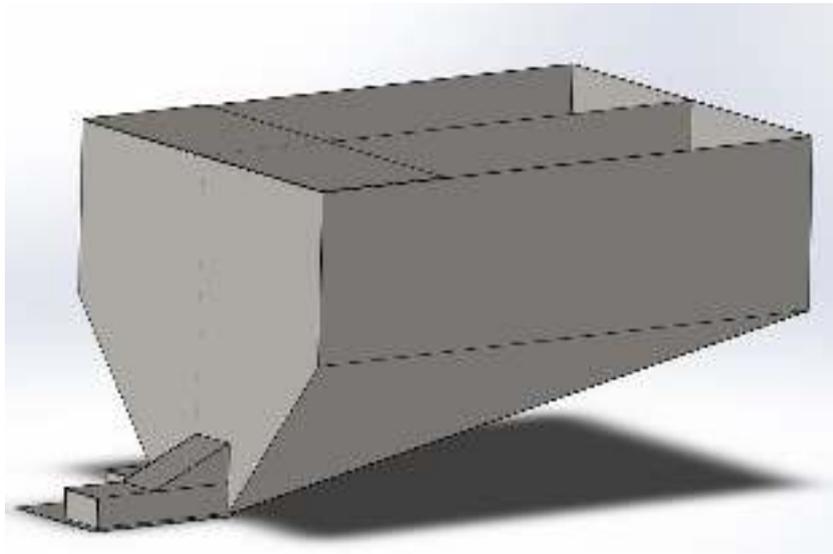


Figura 6.9: *Modelo en CAD de la tolva, imagen 2.*

## 6.5 Chasis

La estructura que soporta a todos los sistemas fue diseñada a base de perfilaría de acero al carbono, de sección cuadrada, 50mm de lado y 3 de espesor. Una vez terminado el trabajo de soldadura, a la misma se le deberá aplicar un recubrimiento de pintura epóxica para prevenir su deterioro por corrosión.

En primer lugar se definieron los puntos de apoyo de los brazos que sostienen a los sistemas distribuidor y dosificador. Cada uno de los dos brazos tendrá 4 vínculos con el chasis. Dos de ellos serán asegurados con bulones y dos serán pernos con bujes que permitirán el plegado y la apertura del equipo. En las figuras 6.10 y 6.11 se indican los apoyos para ambas posiciones: de trabajo y de transporte, respectivamente.



Figura 6.10: *Apoyos para posición de trabajo.*

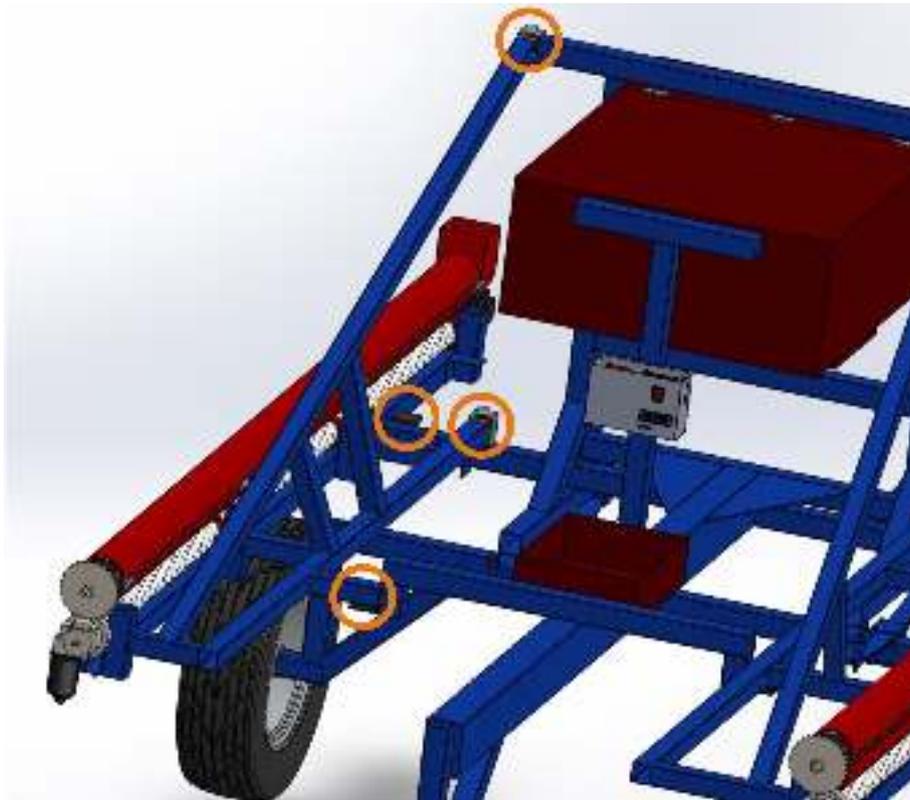


Figura 6.11: *Apoyos para posición de transporte.*

El siguiente paso en el diseño del chasis fue verificar la rigidez de los brazos. Para esto se realizó un análisis estático del más comprometido de ellos, en cuanto a sus apoyos. El mismo se realizó mediante un software de diseño CAD en el que se consideraron los pesos de todos los elementos que deben ser sostenidos (tornillo sin fin, motores, carcasa, fertilizante, etc). La máxima deformación alcanzada en el extremo más alejado del equipo resultó de 0,11mm (figuras 6.12 y 6.13). Este valor debe ser tenido en cuenta a la hora de verificar el correcto funcionamiento del sistema de dosificación. El huelgo de los bujes de ese sistema es de 0,5mm, por lo que, una deformación mayor a ese valor derivaría en una interferencia y en la necesidad de mejorar la rigidez del brazo.

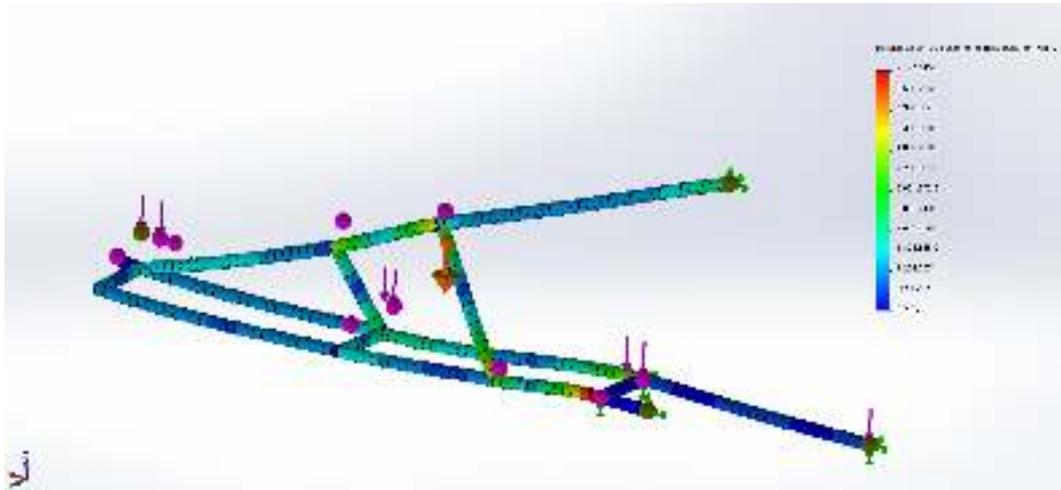


Figura 6.12: *Tensiones del brazo. Factor de escala de tensiones igual a 100.*

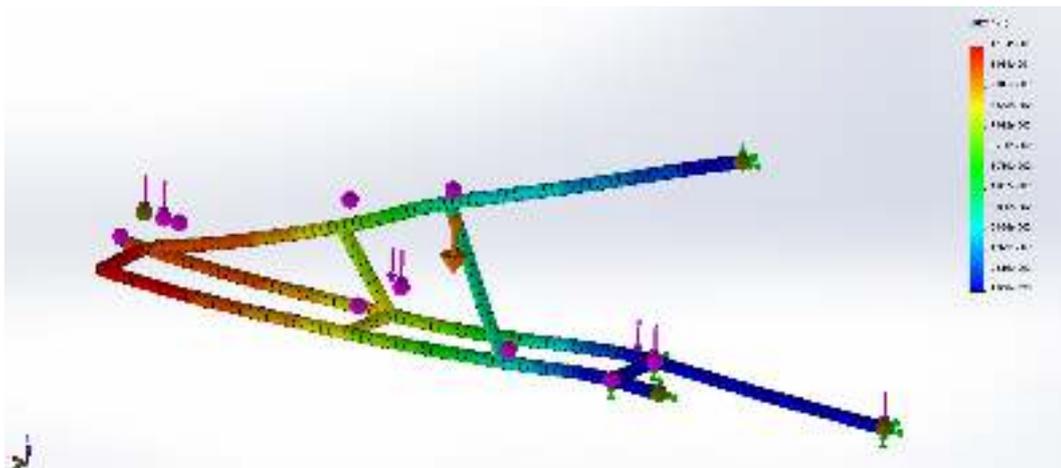


Figura 6.13: *Desplazamientos del brazo. Factor de escala de desplazamientos igual a 1000.*

Luego se avanzó a un análisis dinámico, en el que se buscó verificar que los brazos no perciban vibraciones con frecuencias cercanas a las de su primer modo natural de oscilación. El software arrojó un primer modo en 27 Hz. Bajo las condiciones de trabajo y las posibles morfologías que pueda presentar el suelo donde se utilizará el equipo, es factible que sea sometido a oscilaciones de este tipo. Esto conllevaría a una deformación mucho mayor a la admisible por diseño que podría derivar incluso en deformaciones plásticas. Es por esto

que se agrega un sistema de amortiguación mediante el uso de dos juegos de elásticos (figura 6.14). De esta forma se busca que su frecuencia natural de oscilación este por debajo de 2 Hz de tal manera que el régimen normal vibraciones percibidas en servicio se encuentre muy por encima suyo.

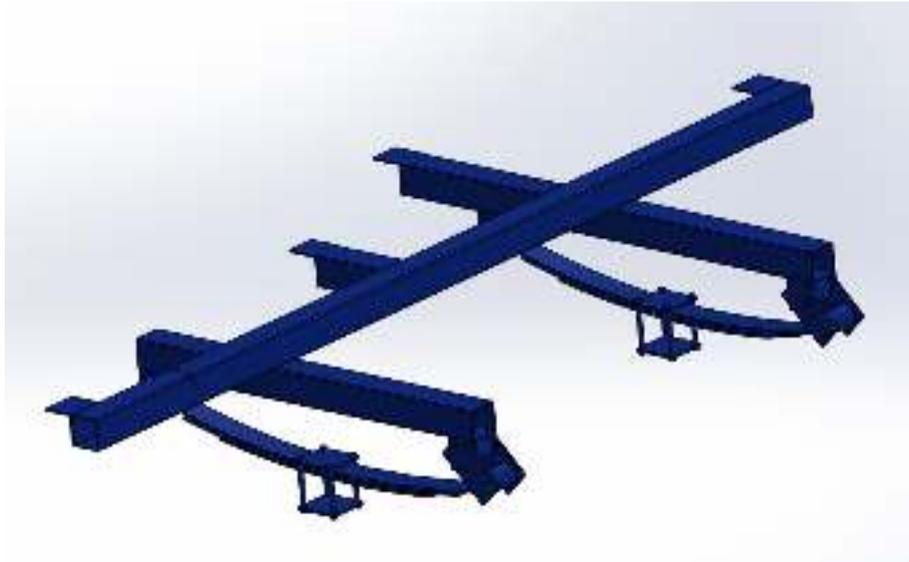


Figura 6.14: *Sistema de amortiguación.*

Luego de colocados los juegos de elásticos se realiza un nuevo estudio, incorporando tanto sus efectos elásticos como los de los neumáticos (apéndice E.4). De este análisis se determina que el equipo tendrá un primer modo natural de oscilación entre 1 y 2 Hz. Lograr estos valores es de suma importancia ya que el entrar en resonancia puede tener graves consecuencias; desde un incorrecto funcionamiento de la máquina hasta la falla o rotura de alguno de sus componentes estructurales.

Para finalizar la verificación del chasis se somete a la parte inferior de la estructura a las solicitaciones correspondientes. Estas incluyen los pesos de todo el equipo. En la figura 6.15 se observa que la sección más solicitada del conjunto se encuentra sometida a un esfuerzo menor al % de su tensión de fluencia. A su vez la figura 6.16 muestra la máxima flecha alcanzada. La misma es de 0,11mm.

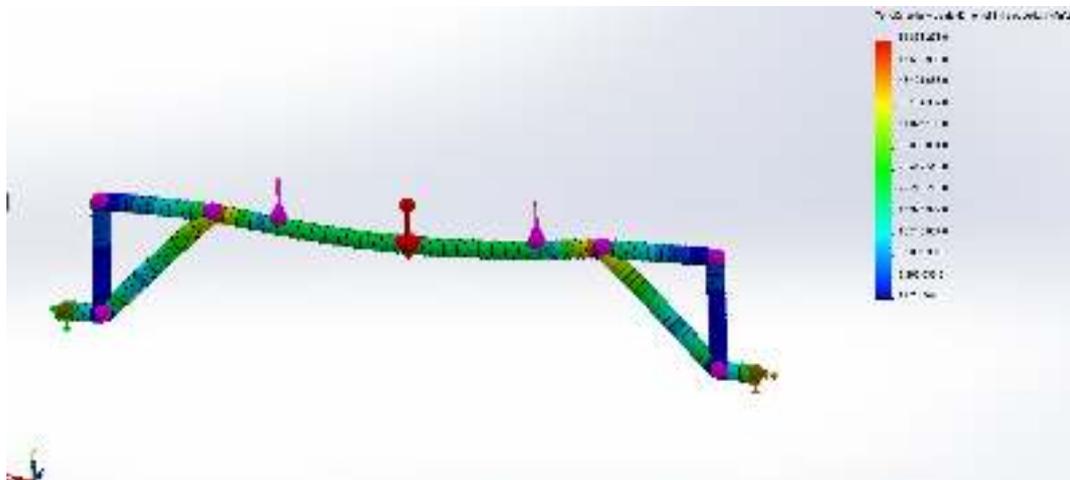


Figura 6.15: *Tensiones de la parte inferior. Factor de escala de tensiones igual a 100.*

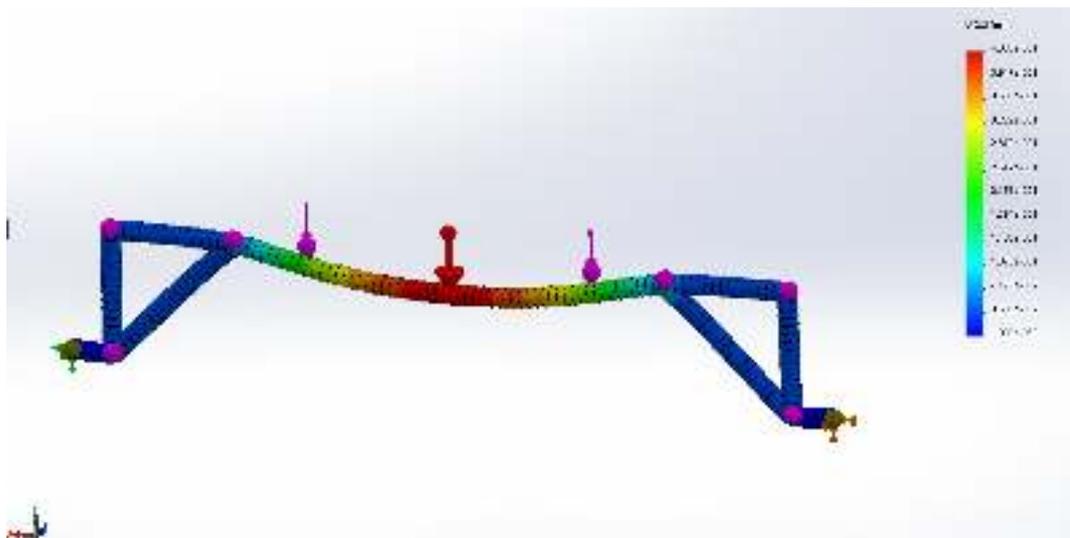


Figura 6.16: *Desplazamientos de la parte inferior. Factor de escala de desplazamientos igual a 200.*

De esta forma se verificaron las estructuras más críticas del equipo. Este chasis admite el uso de llantas y cubiertas de distintas medidas comerciales. Las utilizadas en el modelo son de denominación 185-70, rodado 14". Para poder vincularlas al chasis es necesario adosar un juego de *puntas de ejes* o *masas*. Este es un elemento comercial constituido por:

- Un disco al que se abulona la llanta
- Una masa que aloja dos rodamientos
- Un retén
- Un eje macizo

El eje es el elemento que debe ser soldado a la estructura para completar la vinculación de los dos conjuntos.



Figura 6.17: *Punta de eje.*

La masa seleccionada es una compatible con un auto mediano y por catálogo es capaz de soportar 800 Kg.

**Diseño final del conjunto**

El chasis terminado se presenta a continuación:



Figura 6.18: *Renderizado del chasis, imagen 1.*



Figura 6.19: *Renderizado del chasis, imagen 2.*

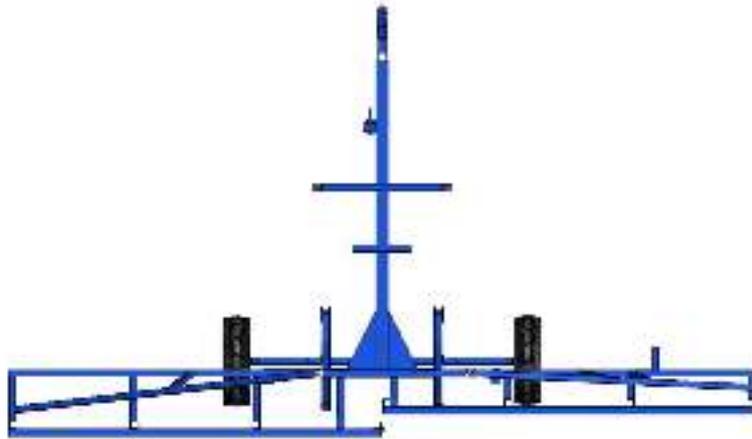


Figura 6.20: *Renderizado del chasis, vista superior.*

## 6.6 Sistema de control

### Introducción

Para diseñar el sistema de control hay que identificar todas las variables que se verán involucradas cuando el equipo esté operando. Estas deben ser censadas y procesadas para determinar la dosis instantánea de fertilizante correcta:

- Cantidad deseada de fertilizante por hectárea.
- Velocidad de avance de la máquina.
- Velocidad de rotación del sistema distribuidor.
- Velocidad de rotación del sistema dosificador.

Una vez que se identificaron las variables a controlar se procedió a investigar cómo implementar sistemas de control. Entre las posibilidades más económicas se halla la *Placa Computadora* o SBC (*single-board computer* por sus siglas en inglés) descrita en 5.2.7.

Para realizar las tareas de censado, medición de velocidad de avance y comando de motores, se utilizarán una serie de componentes electrónicos. Se comenzará por definir los motores utilizados tanto para la conducción de los tornillos sin fin como para los rodillos dosificadores:

### 6.6.1 Motores

#### Para tornillos sin fin

Para traccionar el sistema de distribución se acude a motores de corriente continua (figura 6.21). Funcionan con alimentación de 12 [VCC] y pueden consumir hasta 20 [A].



Figura 6.21: *Motor 12V - 250W.*

Su velocidad nominal de rotación es de 2500 RPM y trae de fábrica un piñón de 11 dientes de paso 25H (6,35mm). Dado que el tornillo sin fin deberá girar entre 50 y 200 RPM será necesario aplicar una reducción. Para tal fin se selecciona otro piñón de 68 dientes y una cadena de 120 pasos. Así, la relación de transmisión resultante es de 0,17.

En cuanto a la resistencia de la cadena, se tuvo en cuenta que el motor viene de fábrica con un piñón con una cantidad de dientes y paso adecuados. Tanto él como la cadena serán capaces de transmitir los 250 W que entrega. Sumado a esto, el motor funcionará como máximo a 1200 RPM, por lo que no entregará toda su potencia bajo ninguna circunstancia. La velocidad de rotación de la corona seleccionada para el eje del tornillo sin fin será de un máximo de 425 RPM. De dos piñones expuestos a las mismas solicitudes,

el más pequeño es el que corre mayor riesgo de ruptura. Siendo que el más pequeño es proporcionado por el fabricante, se da por sentado que tanto el piñón como la cadena las soportarán.

### Para rodillos dosificadores

En cuanto al sistema dosificador, se seleccionaron motores con otro principio de funcionamiento: motores del tipo *paso a paso*. Ellos convierten pulsos eléctricos en giros discretos de un eje. Haciendo un correcto uso de estos dispositivos, se puede lograr una excelente precisión en la velocidad de rotación de los rodillos dosificadores, lo cual es fundamental para que la dosis de fertilizante sea la correcta. Para este equipo fueron seleccionados motores modelo *KM113*, de cuerpo *NEMA 42* (110mm), que trabajan con corriente continua y alimentación de 24 [V]. Su consumo en régimen máximo es de 6 [A].

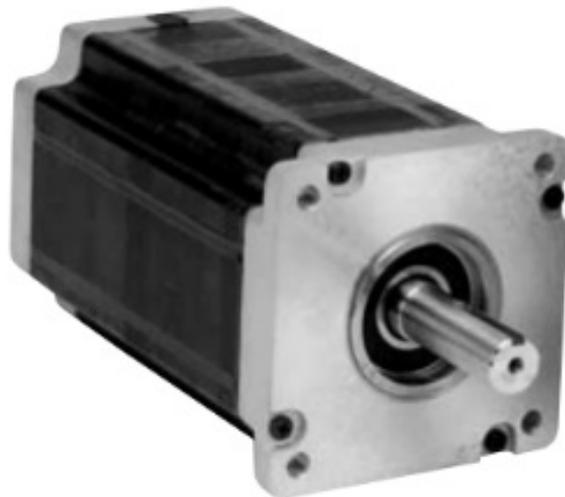


Figura 6.22: *Motor paso a paso, modelo KM113.*

El fabricante provee información de todo tipo acerca de los motores, entre ella, un gráfico que muestra la relación entre el torque máximo que pueden lograr según las RPM a las que trabajen:

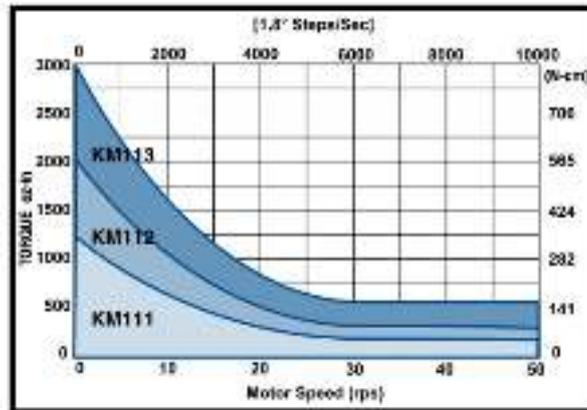


Figura 6.23: Torque vs RPM.

Motor Frame	Minimum Holding Torque		Rotor Inertia	Weight		Maximum Shaft Load		Minimum Residual Torque
	Unipolar 2Ø on	Bipolar 2Ø on		Net	Ship	Overhang	Thrust	
	oz-in (N-cm)	oz-in (N-cm)		lb (kg)	lb (kg)	lb (kg)	lb (kg)	
KM113	2,550 (1,870)	3,750 (2,650)	0,229 (18,2)	25,7 (11,7)	25,9 (12,2)	75 (34,0)	160 (72,6)	106 (75)

Figura 6.24: Ficha técnica del motor paso a paso.

## 6.6.2 Controladores

### Para motores de tornillos sin fin

Para poder controlar cada uno de los motores que mueven los tornillos sin fin se utilizarán dos elementos:

En primer lugar habrá un regulador de accionamiento manual que facilita la selección del valor de RPM deseadas. En segundo, un relay de estado sólido, que le dará un funcionamiento *ON - OFF* según se lo indique la placa Mega.



Figura 6.25: *Regulador PWM para motor de corriente continua.*

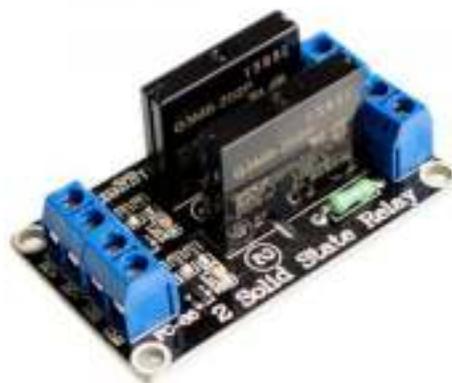


Figura 6.26: *Relay de estado sólido.*

### Para motores paso a paso

El controlador seleccionado para comandar los motores paso a paso es el G213V. Este dispositivo trabaja, al igual que los motores, con alimentación

de corriente continua y tensión 24 VCC (figura 6.27). Es también compatible con los dispositivos de la marca Arduino y cada motor paso a paso deberá ser dirigido por uno de ellos. Para lograr un determinado valor de RPM para cada motor, se les debe enviar pulsos a una determinada frecuencia. Ellos son procesados y para energizar las bobinas del motor paso a paso en forma correcta.

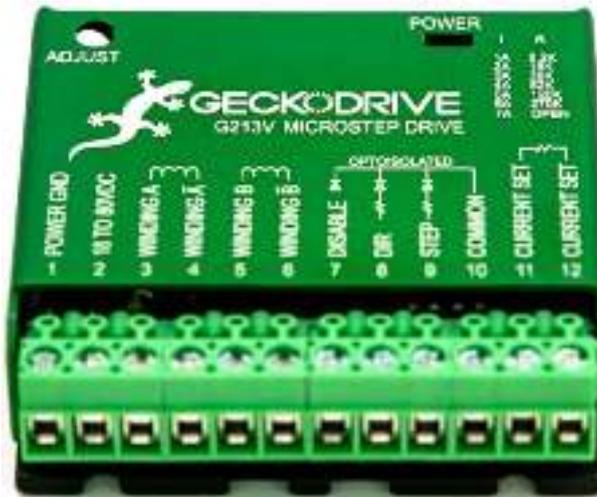


Figura 6.27: *G213V Step Motor Driver.*

### 6.6.3 Módulo GPS

Para medir la velocidad de avance de la máquina se utilizará un módulo de posicionamiento global llamado GPS6M (figura 6.28). Este módulo compatible con las placas Arduino brindará una de las variables necesarias para calcular la velocidad instantánea de rotación del sistema dosificador.



Figura 6.28: *Módulo GPS6M.*

#### 6.6.4 Interfaz

La forma de comandar todo por el usuario se realiza a través de un módulo de pantalla LCD que trae además una botonera que posibilita la lectura e ingreso de datos al software (figura 6.29).

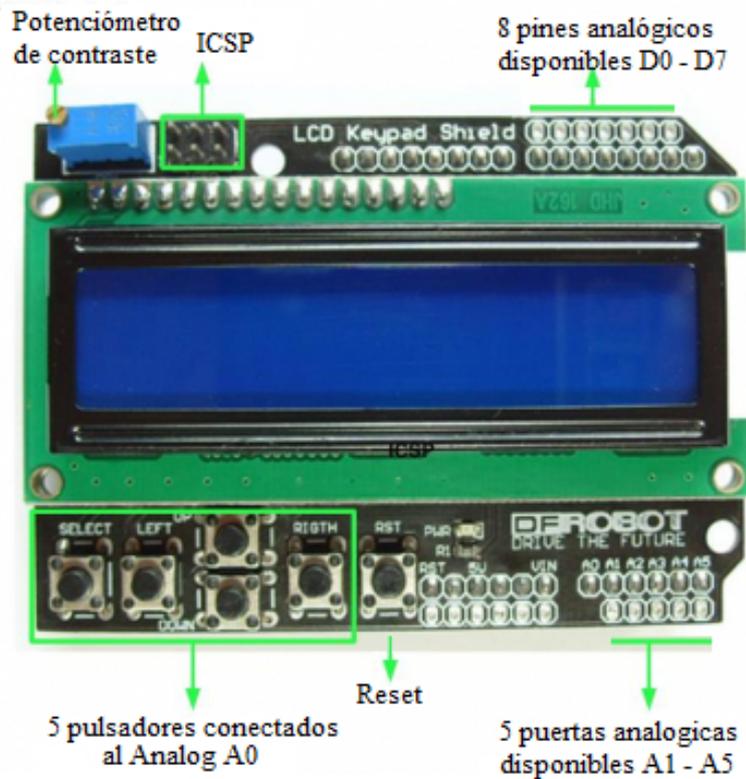


Figura 6.29: Pantalla LCD con botonera.

### 6.6.5 Controladores generales

Para comandar las placas que conducen los motores se utilizarán dos tarjetas de desarrollo de Hardware libre. En primer lugar, la *Arduino Mega 2560* (apéndice B) funcionará de controlador general y cumplirá las siguientes funciones:

- Recolectar y procesar la información ingresada por el usuario.
- Recibir constantemente información del módulo GPS.
- Calcular las velocidades de rotación correctas de los motores del sistema dosificador.
- Comandar los relays del sistema distribuidor.



Figura 6.30: *Placa Arduino Mega.*

Este tipo de placas no poseen la capacidad de trabajar en modo multitarea, por lo que solo leen una línea de código a la vez. Como los controladores de los motores paso a paso (sección 6.6.2) deben ser alimentados con pulsos constantemente para garantizar un suave funcionamiento del sistema de dosificación, será necesario el uso de una placa auxiliar exclusivamente para ello. Si se pretendiera realizar todas las tareas con la placa Mega 2560, estos motores no recibirían pulsos durante la fracción de tiempo que le tome a la misma realizar la iteración de cálculos, y se frenarían de forma intermitente. Para cumplir esa función se utilizarán unas del mismo tipo pero más sencillas: placas *Arduino Nano*.

A diferencia de la Mega 2560, la placa Nano es una de las más limitadas y económicas placas computadoras de la marca Arduino. Sus prestaciones y velocidad de procesamiento son, sin embargo, suficientes para cubrir las necesidades de la tarea. Las tres placas trabajarían en conjunto: por un lado la Mega recopilando información y haciendo cálculos y por otro, las Nano recibiendo un parámetro de ella y haciendo girar cada uno de los motores paso a paso.



Figura 6.31: *Placa Arduino Nano.*

### 6.6.6 Sensores

Como ya se ha dicho antes, es de suma importancia mantener la precámara llena mientras se esté fertilizando. Para lograr esto, es necesario que el sistema de distribución pueda desplazar un caudal mayor al que pueda llegar a necesitar el sistema dosificador. Esto fue tenido en cuenta a la hora de dimensionar los tornillos sin fin y los motores que los conducen. El fertilizante se acumulará sobre el final de la carcasa y su nivel será registrado por un sensor. Haciendo uso de ellos, la placa *Mega* logrará que en todo momento la precámara esté llena de producto.

El sensor seleccionado es el *UWT CN 4020* y es de tipo *capacitivo*. Está diseñado para soportar ambientes altamente corrosivos y detectar productos tanto metálicos como no metálicos. Se utilizarán para comandar los relays de 6.6.2

### 6.6.7 Programación

La programación de Arduino es la programación de un *microcontrolador*. Esto consiste en traducir a líneas de código las tareas automatizadas que se deseen realizar, obteniendo información de los sensores. A partir de sus lecturas y en función de las condiciones del entorno programar la interacción con los componentes externos.

Arduino proporciona un entorno de programación sencillo y potente para programar, pero además incluye las herramientas necesarias para compilar el programa y grabarlo ya compilado en la memoria flash del microcontro-

lador. Además el IDE nos ofrece un sistema de gestión de librerías y placas muy práctico. Como IDE es un software sencillo que si bien carece de funciones avanzadas típicas de otros IDEs, las que ofrece nos son suficientes para cumplir los requerimientos de este equipo.

No se describirá la programación en sí por no ser este tema objeto de este trabajo, sino que se describirá cómo se utilizó para que el equipo cumpla los requisitos del mismo.

Dicha programación se detalla en el apéndice B.5.1, junto con las librerías necesarias que se deben instalar aparte del IDE propio de Arduino.

### 6.6.8 Plano eléctrico

El conexionado de los componentes electrónicos se deberá hacer en base a los siguientes diagramas. Es importante destacar que son necesarias líneas de alimentación de 3.3, 5, 12 y 24 V, las cuales deben ser respetadas para salvaguardar la integridad de cada elemento. Es por esto que el equipo contará con dos baterías de 12 V conectadas en serie. No será requerida una conexión con el vehículo remolcador. Con todos los componentes funcionando a su máximo régimen se tendría un consumo de 52 A. Para lograr una autonomía mínima de 1,5 hs, se deberán emplear baterías de 75 Ah. Para evitar que estas se agoten, deben mantenerse cargadas mayor parte del tiempo que no estén en uso utilizando cargadores externos, también evitar utilizar la máquina hasta el agote de las baterías.

Cabe destacar que esta distribuidora de fertilizantes no va a ser utilizada por mas de 20 minutos por vez, y que los motores están seleccionados para que estos no funcionen a su máximo régimen.

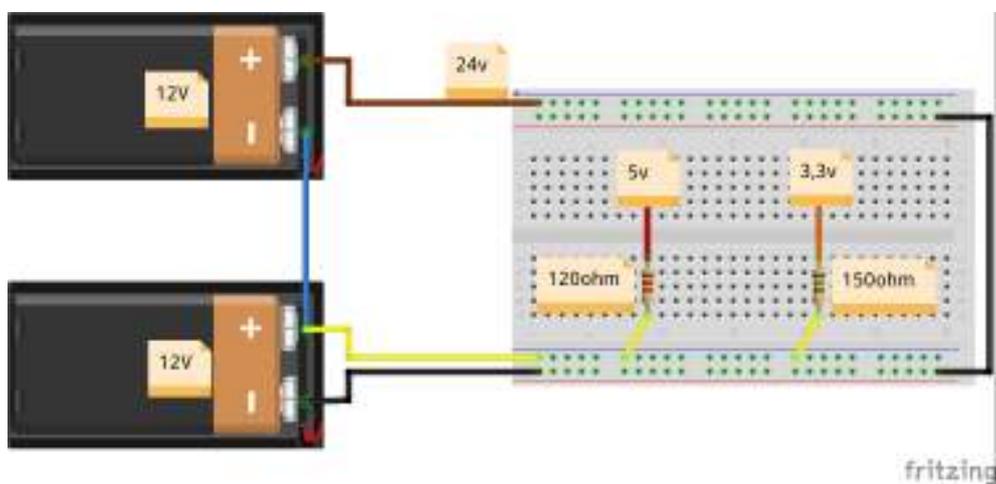


Figura 6.32: Plano eléctrico, conexión de baterías.

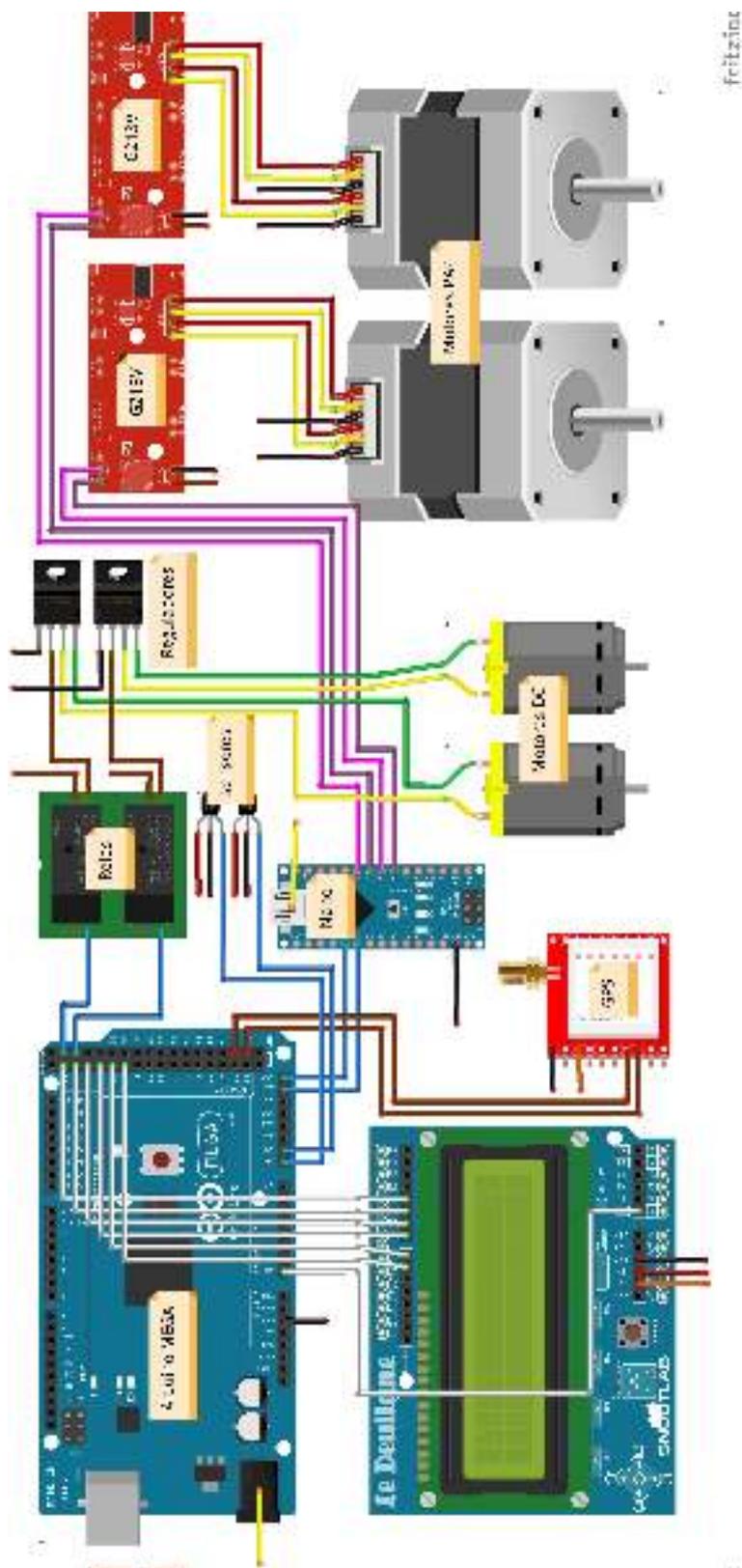


Figura 6.33: Plano eléctrico, conexión de componentes.

## 6.7 Conclusiones y recomendaciones

Lo primero y más importante a destacar es que se logró cumplir el objetivo principal del proyecto: diseñar un equipo capaz de fertilizar de forma homogénea y controlada en todo el ancho de labor. Su puesta a punto es sencilla incluso para los casos en que se desee trabajar con un tipo de fertilización mixta. Luego de su construcción no deja de ser fundamental realizar una calibración, ya que, por más sencillo que pueda llegar a ser el diseño, los errores asociados a procesos de fabricación derivan en pequeñas desviaciones en el perfil de dosificación del equipo. Luego de este trabajo el mismo debería mostrar errores menores al 20% en todo el ancho de labor, lo cual es más que aceptable para un equipo agrícola.

A pesar de que es un requisito realizar una calibración cada vez que se trabaje con un producto nuevo, su realización es sencilla.

El ingreso de datos contiene información de suma importancia para cumplir con los requisitos del usuario, sin embargo, consta de solo dos variables: *dosificación por hectárea* y *factor X* asociado al producto utilizado.

Yendo más allá de los objetivos del proyecto, este equipo es capaz de fertilizar con una amplia variedad de fertilizantes sólidos e incluso puede cumplir la tarea de sembrar al *voleo*, con la misma precisión con la que fertiliza.

A continuación se muestran modelos computarizados del equipo terminado. Los últimos tres imágenes la posición del centro de masas. En el Apéndice D se adjuntan los planos de fabricación.



Figura 6.34: *Equipo terminado, imagen 1.*



Figura 6.35: *Equipo terminado, imagen 2.*

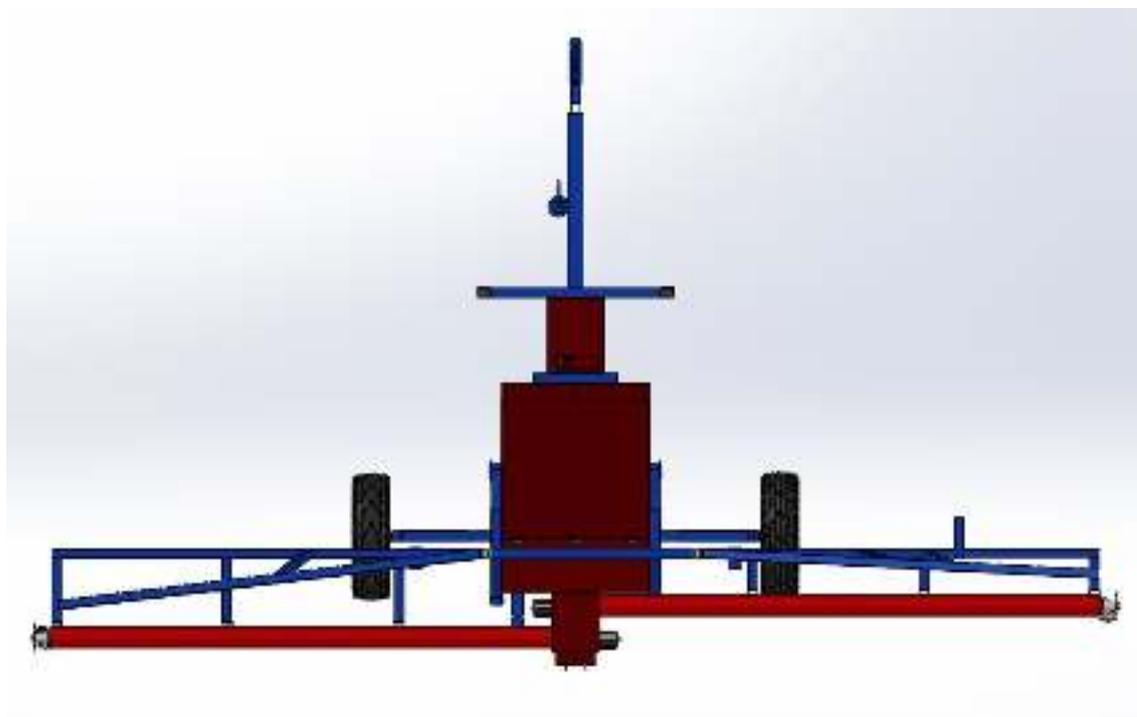


Figura 6.36: *Equipo terminado, vista superior.*



Figura 6.37: *Equipo terminado, vista posterior.*



Figura 6.38: *Equipo terminado, vista frontal.*

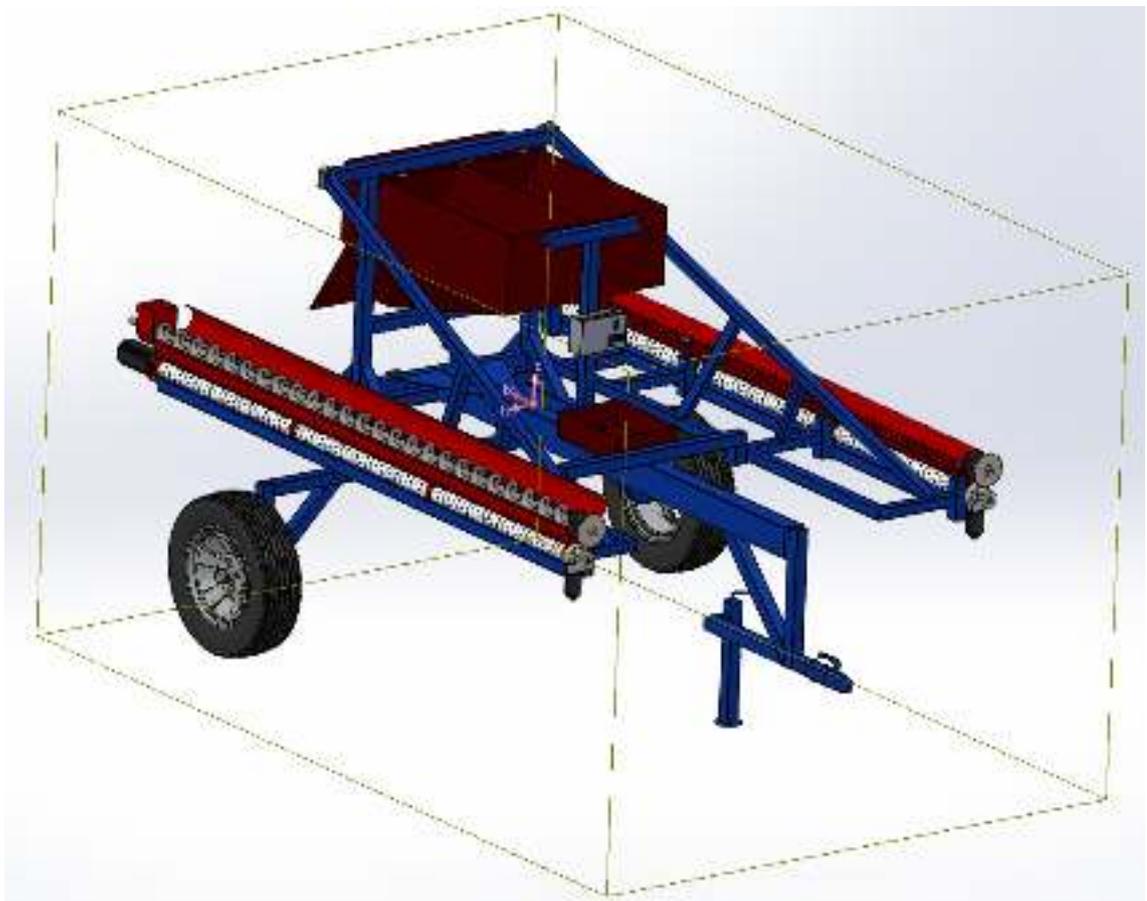


Figura 6.39: Centro de masas con brazos cerrados.

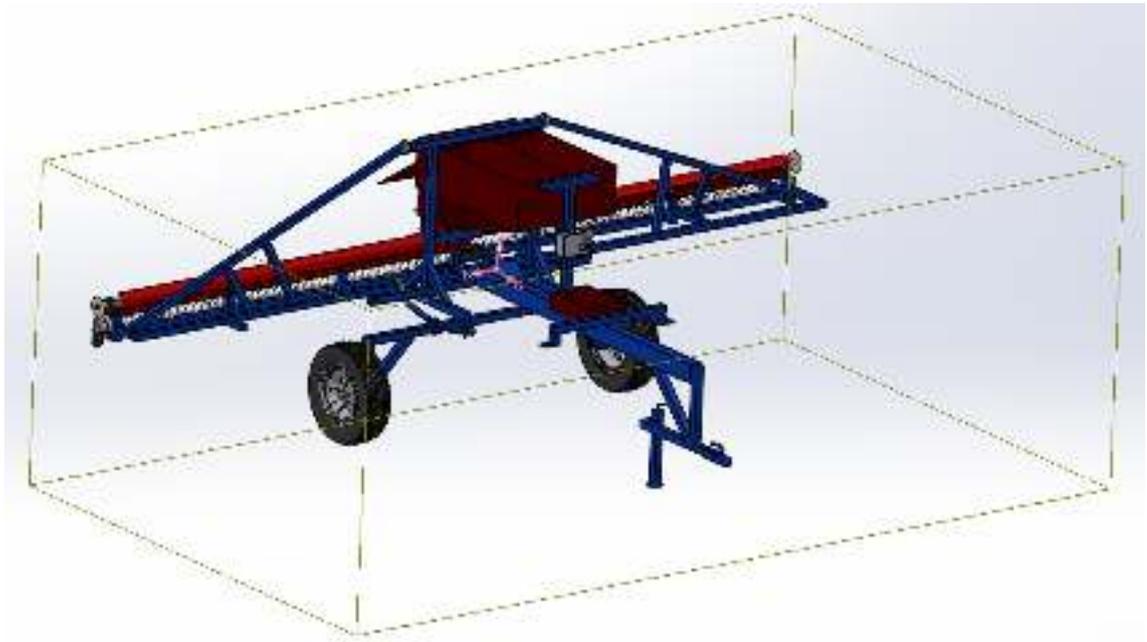


Figura 6.40: *Centro de masas con brazos abiertos.*

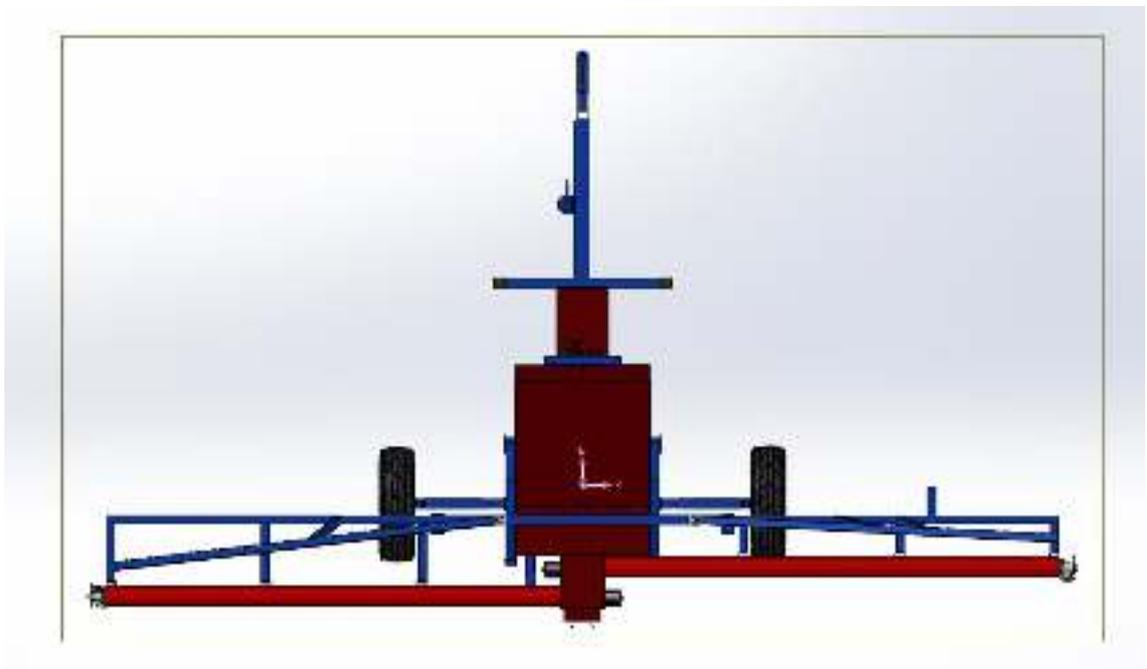


Figura 6.41: *Centro de masas, vista superior.*

## Sección 7

# Estudio económico

Los costos para la fabricación del equipo se dividen en cuatro partes principalmente: *materiales*, *mecanizado*, *elementos comerciales* y *elementos de electrónica*:

### Materiales

Artículo	Cantidad	Costo [USD]
Perfil cuadrado 50 x 50 x 2 mm	28,5 m	125
Perfil cuadrado 120 x 80 x 3,2 mm	2,1 m	32
Chapa 2 mm espesor	4,5 m <sup>2</sup>	90
Helicoide sin fin	5 m	50
Caño 4" x 2 mm	5,2 m	38
Caño 2 1/2" SCH 40	0,25 m	5
Caño 1" x 1,6 mm	5,6 m	9
Redondo macizo diám 1"	0,5 m	3
Barra polipropileno diám 60-40 mm	6 m	150
Barra polipropileno diám 60 mm	1 m	33
Barra polipropileno diám 40 mm	1 m	15
Pintura epóxica (1L)	4 u	60
Bulonería y electrodos		30
<b>Total</b>		<b>640</b>

Tabla 7.1: *Cantidades y costos de materia prima.*

**Mecanizado**

El costo del mecanizado es difícil de cuantificar con detalle. Una estimación normalmente utilizada en el rubro es de entre el 100 y el 150% del material utilizado. Si se lo estima en un 120% de este valor, esta categoría implicaría unos **770 USD** adicionales, entre trabajos de tornería y soldadura.

**Elementos comerciales**

<b>Artículo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo [USD]</b>
Portarodamiento <i>SKF PF 1. TF</i>	4 u	24
Cepillo longitudinal (c/sujeción)	10 m	40
Bisagra	19 u	5
Corona 65 dientes	2 u	26
Cadena	2 u	40
Conjunto elásticos	2 u	50
Pata estabilizadora	1 u	50
Llanta 14"	2 u	20
Neumático 185/70/14	2 u	95
Punta de eje	2 u	60
<b>Total</b>		<b>410</b>

Tabla 7.2: *Cantidades y costos de elementos comerciales.*

**Elementos de electrónica**

<b>Artículo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo [USD]</b>
Placa Arduino Mega	1 u	20
Placa Arduino Nano	2 u	10
Regulador PWM	2 u	30
Placa G213V	2 u	500
Módulo GPS6M	1 u	4
Pantalla cristal líquido	1 u	6
Motor sin fin MY1016	2 u	150
Sensor CN 4020	2 u	100
Motor paso a paso 34H2160-458B	2 u	500
Relays Arduino Nubbeo	2 u	10
Batería 12 V - 75 A	2 u	160
<b>Total</b>		<b>1490</b>

Tabla 7.3: *Cantidades y costos de elementos del sistema de control.***Conslusiones**

Los costos estimados para la fabricación del equipo suman USD 3310. Si bien se estimaba que el mismo podría llegar a ser más económico, se priorizó desde el primer momento cumplir con un correcto trabajo de fertilización homogénea. Esta condición derivó en el uso de materiales y elementos de mayor valor al pensado cuando se comenzó con el proyecto. Evidencia de esto es que casi la mitad del presupuesto está destinado a elementos electrónicos, siendo los más costoso los motores paso a paso y sus controladores. Estos dos elementos cumplen la función más importante que es arrojar la cantidad correcta de fertilizante a cada momento del trabajo. A este valor se le suma un margen del 10% destinado a contingencias, dando un total de **USD 3640**. Todos los costos fueron calculados en base a elementos comerciales y disponibles dentro del país, y los mismos corresponden al mes de octubre del año 2019.

## Sección 8

### Manual de usuario

Antes de comenzar la fertilización, se deberá seguir una serie de pasos de puesta a punto del equipo. Debe tenerse en cuenta que el mismo trabaja como dos mitades gemelas e *independientes*, con tolvas separadas. Ellas pueden ser programadas para realizar el mismo trabajo con mismo producto o para realizar trabajos tanto de distinta dosificación como diferentes productos.

## 8.1 Menú principal

A continuación un detalle de las funciones a las que se puede acceder desde el menú principal en la pantalla de comandos:

- **1- Rotación manual sin fin:** Mientras se mantenga pulsada la opción *Activar* se hace rotar el tornillo sin fin seleccionado, o ambos. La velocidad se regula haciendo uso de la perilla del potenciómetro asociado a cada tornillo.
- **2- Rotación manual rodillo:** Mientras se mantenga pulsada la opción *Activar* se hace rotar el rodillo dosificador seleccionado, o ambos.
- **3- Llenado precámara:** Esta rutina hace rotar el tornillo sin fin seleccionado hasta que el producto accione el sensor de *precámara llena*.
- **4- Calibración:** Esta rutina hace rotar el rodillo dosificador seleccionado 10 giros completos.
- **5- Uso total o parcial:** Esta rutina hace rotar el rodillo dosificador seleccionado 10 giros completos.
- **6- Fertilización simple/mixta:** Si se desea que ambos lados del equipo trabajen de igual forma, seleccionar fertilización *simple*. Si se desea realizar dos labores distintas, seleccionar fertilización *mixta*.
- **7- Dosificación Kg/ha:** Ingresar aquí el valor de dosificación en *kilogramos por hectárea*. Si se trata de dosificación mixta, ingresar el valor correspondiente a cada lado del equipo.
- **8- Ingresar parámetro X:** Ingresar aquí el parámetro *X* para el producto utilizado. Si se trata de dosificación mixta, ingresar el valor correspondiente a cada lado del equipo. Unidad: *gramos*.
- **9- Comenzar fertilización:** Comienza la rutina de fertilización. Para ingresar debe estar el equipo dispuesto al comienzo de la parcela.

## 8.2 Preparación

### 8.2.1 Llenado de precámara

Lo primero a hacer cuando se quiere utilizar un producto por primera vez es averiguar su correspondiente parámetro  $X$ . Si este valor es conocido, avanzar a la sección 8.3. Este número es el peso en gramos *de este producto* que arroja un lado del equipo al realizar 10 giros completos el rodillo dosificador. Para hallarlo se deberá cargar un lado de la tolva con él para llenar la precámara. Se debe verificar que estén abiertas las tapas inferiores de la tolva para permitir el paso de producto (figura 8.1).

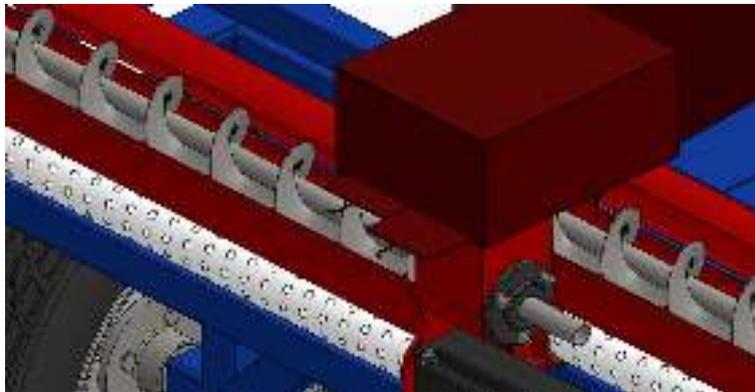


Figura 8.1: *Tapas inferiores de la tolva.*

Desde la pantalla de comandos:

- Menú principal.
- **3- Llenado precámara.**
- Derecha o izquierda (según corresponda).
- Confirmar.

Luego de seleccionar *Confirmar*, el motor que acciona el sin fin funcionará hasta que se llene la precámara. Esta acción puede realizarse también con la opción *Rotación manual sin fin* del menú principal. La velocidad de rotación de cada tornillo puede ser regulada con la perilla del potenciómetro correspondiente.

### 8.2.2 Calibración

La rutina de calibración consiste en 10 giros completos del rodillo distribuidor. Se debe primero verificar que la precámara esté llena de fertilizante. Retirar la tapa del tornillo sin fin y colocarla por debajo del rodillo, haciendo uso del juego secundario de bisagras. De esta forma esta chapa servirá para conducir al producto a un recipiente colector.

Desde la pantalla de comandos:

- Menú principal.
- **4- Calibración.**
- Derecha o izquierda (según corresponda).
- Confirmar.

Recolectar y pesar el material arrojado por la máquina. Este valor en gramos será utilizado en el ingreso de datos como *parámetro X*. Colocar la tapa del tornillo sin fin en su posición original.

## 8.3 Ingreso de datos

Previo a comenzar el trabajo es necesario ingresar los valores de las variables del mismo. Ellos son:

### 8.3.1 Uso total o parcial del equipo

Desde la pantalla de comandos:

- Menú principal.
- **5- Uso total o parcial.**
- Seleccionar *total*, *solo derecha* o *solo izquierda* según corresponda.

### 8.3.2 Fertilización simple / mixta

Desde la pantalla de comandos:

- Menú principal.
- **6- Fertilización simple/mixta.**
- Seleccionar *simple* o *mixta* según corresponda.

### 8.3.3 Dosificación

Desde la pantalla de comandos:

- Menú principal.
- **7- Dosificación Kg/ha.**
- Derecha o izquierda (según corresponda).
- Ingresar el valor deseado para la parcela en [*Kg/ha*].

Según la dosificación deseada a cada lado del equipo se debe seleccionar la velocidad correcta de rotación del tornillo sin fin correspondiente. Esto se realiza seleccionando las marcas A, B o C según corresponda:

- A: Para dosificaciones menores a 100 Kg/ha.
- B: Para dosificaciones de entre 100 y 250 Kg/ha.
- C: Para dosificaciones mayores a 250 Kg/ha.

### 8.3.4 Ingreso del parámetro X

Desde la pantalla de comandos:

- Menú principal.
- **8- Ingresar parámetro X.**
- Derecha o izquierda (según corresponda).
- Ingresar el valor obtenido del ensayo de la sección 8.2.2, en gramos.

## 8.4 Proceso de fertilización

Una vez ingresados los datos necesarios para que el sistema trabaje correctamente se puede proceder a fertilizar. Verificar que las precámaras estén llenas de producto y, de no ser así, proceder con la rutina de la sección 8.2.1 para llenarlas. Si sólo se utilizará un lado del equipo, verificar que su precámara esté llena. El equipo debe ser ubicado sobre el comienzo de la parcela e iniciar el programa desde la pantalla de comandos:

- Menú principal.

- **9- Comenzar fertilización.**
- Confirmar.

De aquí en más, cuando el módulo GPS detecte que el equipo está en movimiento, trabajarán los motores de los rodillos dosificadores y los tornillos sin fin, según corresponda. Una vez terminado el recorrido por encima de la parcela, presionar *OK* para que se detenga el equipo. Si se desea trabajar otra parcela con los mismos parámetros, dirigirse a ella y seleccionar nuevamente la opción *Comenzar fertilización*.

## 8.5 Finalización y vaciado

Una vez terminado el trabajo se deben cerrar las boquillas que conectan la tolva con las precámaras (figura 8.1) para bloquear el flujo de producto. Para vaciar las precámaras, retirar la tapa del tornillo sin fin y colocarla por debajo del rodillo dosificador, haciendo uso del juego secundario de bisagras. De esta forma esta chapa servirá para conducir al producto a un recipiente colector. Vaciar el equipo haciendo uso de la opción *Rotación manual rodillo* del menú principal.

Para permitir el plegado de los brazos se debe retirar cuatro pernos que los sujetan. Luego se deben sujetar en los cuatro apoyos que los mantienen cerrados. Para retirar el producto remanente en la tolva, ubicar un recipiente colector debajo de las tapas indicadas en la imagen 8.1 y abrirlas para permitir su vaciado.

## **Sección 9**

# **Conclusiones y recomendaciones**

## 9.1 Conclusiones

Se logro diseñar una máquina que satisface los requerimientos de homogeneidad y repetitividad. Esto lo hace ideal para uso científico y permite a los investigadores dejar inmóvil la variable de la cantidad de fertilizante en los ensayos.

Gracias a la programación del sistema de control, se logro realizar un menú muy amigable para facilitar el uso del equipo al usuario. Además, gracias a lo que se llamo parámetro X, la máquina es capaz de distribuir sobre el terreno cualquier tipo de material granulado que posea un tamaño de grano del orden del fertilizante granulado.

## 9.2 Recomendaciones para estudios futuros

En caso de que se pretenda avanzar con la construcción del equipo, se deberán tomar los siguientes recaudos:

Realizar una calibración del sistema de control del tornillo dosificador, de tal forma que tanto la posición del sensor capacitivo como los valores de capacitancia tomados del mismo aseguren el correcto funcionamiento. De esta forma se debe lograr que el sistema dosificador siempre se encuentre con fertilizante.

Realizar ensayos dinámicos para la verificación estructural, tanto del chasis como de los brazos que soportan los sistemas distribuidores y dosificadores.

Queda abierta la posibilidad de montar un tensor en los miembros estructurales de los brazos que sostienen los sistemas dosificadores y distribuidores logrando darle una precarga. De esta forma se evitan deformaciones en dichos brazos.

Realizar un estudio de posicionamiento y montaje del sistema dosificador. Se deberá diseñar un sistema para lograr concentricidad entre los portabujes a la hora de proceder con la soldadura de los mismos a la estructura. De esta forma se debe asegurar que el huelgo radial entre los bujes y el rodillo dosificador sea de 5 décimas de milímetro, con una tolerancia de  $\pm 1$  décima de milímetro.

Otra opción para resolver la concentricidad entre los portabujes seria modificar el diseño de tal forma que estos estén abulonados en lugar de estar soldados, y junto con esta modificación, diseñar una forma para poder lograr la concentricidad deseada.

Se propone también realizar un estudio para analizar la incorporación de paneles solares, de tal forma que las baterías se recarguen de una forma más cómoda para el usuario y mientras el equipo se encuentre en reposo.

# Parte II

## Apéndices

# Apéndice A

## Apéndice teórico

## **A.1 Proceso de cultivo**

La actividad agraria es compleja por definición. Requiere de una serie de cuidados, procesos y pasos recomendados para conseguir finalmente los resultados esperados en forma de cosechas. Para ello es fundamental prestar atención a cómo hay que preparar el campo antes del proceso de siembra.

Las características y cómo esté el suelo es un factor clave, al igual que pudieran serlo los agentes externos como el clima, la radiación solar o el agua. Por ello, antes de comenzar con la siembra, es conveniente revisar las condiciones de la tierra. Es por eso que vamos a analizar los pasos pertinentes para saber cómo prepara el campo para el proceso de siembra.

### **A.1.1 Pasos previos antes de sembrar el campo**

Antes de lanzarse al cultivo de cualquier semilla es preciso cerciorarse y preparar el terreno para la ocasión. De esta forma se garantizará que las plantas crecerán adecuadamente teniendo el sustrato necesario y en un emplazamiento con las características idóneas para dicho cultivo. Es preciso, por tanto, conocer los pasos previos para saber cómo el preparar el campo para sembrar. A continuación detallamos los pasos más significativos y claves en este procedimiento agrícola.

#### **Eliminar la maleza**

La limpieza es fundamental. De ahí que antes de nada hay que quitar la maleza y hierba que haya surgido para evitar que entorpezca en la siembra que posteriormente se llevará a cabo. Es un paso básico para poder plantar con total comodidad. Es un proceso que puede costar un tiempo pero que mejorará las condiciones para el trabajo de cultivo.

#### **Airear y oxigenar el terreno**

Existen herramientas de diferente índole con las que se puede realizar esta actividad. Lo importante es conseguir que se aireen las capas profundas del suelo y se consiga así el nivel de oxígeno adecuado para que las raíces puedan crecer con todas las garantías.

#### **Abonar el terreno**

Abonar con propiedad es clave para conseguir un sustrato rico que pueda alimentar a las raíces para que germinen en buenas condiciones. Existen diferentes tipos de abonos, como el abono orgánico, el mineral, los organismos

vivos o el compost con los que se puede dotar de nutrientes a la tierra antes de prepararla para la siembra.

**Sembrar el campo**

Para una correcta siembra se recomienda el uso de máquinas especializadas mediante las que se puedan controlar de forma precisa la profundidad adecuada donde se quiere dejar la semilla. Un proceso que también requiere de su tiempo pero que se llevan a cabo fácilmente gracias al uso de estos sofisticados aperos para la siembra y el cultivo de todo tipo de campos y semillas.

## A.2 Los nutrientes - sus funciones en las plantas y sus fuentes

### A.2.1 Nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas

Dieciséis elementos son esenciales para el crecimiento de una gran mayoría de plantas y éstos provienen del aire y del suelo circundante. En el suelo, el medio de transporte es la solución del suelo.

Los elementos siguientes son derivados:

- del aire: carbono ( $C$ ) como  $CO_2$  (dióxido de carbono);
- del agua: hidrógeno ( $H$ ) y oxígeno ( $O$ ) como  $H_2O$  (agua);
- del suelo, el fertilizante y abono animal: nitrógeno ( $N$ ), fósforo ( $P$ ), potasio ( $K$ ), calcio ( $Ca$ ), magnesio ( $Mg$ ), azufre ( $S$ ), hierro ( $Fe$ ), manganeso ( $Mn$ ), zinc ( $Zn$ ), cobre ( $Cu$ ), boro ( $B$ ), molibdeno ( $Mo$ ) y cloro ( $Cl$ ).

### A.2.2 Las funciones de los nutrientes

Aparte del carbono ( $C$ ), que será discutido bajo el título *Fotosíntesis*, la planta obtiene todos los nutrientes de la solución del suelo. Estos se dividen en dos categorías (clasificación cuantitativa):

- macronutrientes, divididos en nutrientes primarios y secundarios; y
- micronutrientes o microelementos.

Los **macronutrientes** se necesitan en grandes cantidades, y grandes cantidades tienen que ser aplicadas si el suelo es deficiente en uno o más de ellos. Los suelos pueden ser naturalmente pobres en nutrientes, o pueden llegar a ser deficientes debido a la extracción de los nutrientes por los cultivos a lo largo de los años, o cuando se utilizan variedades de rendimientos altos, las cuales son más demandantes en nutrientes que las variedades locales.

En contraste a los macronutrientes, los **micronutrientes o microelementos** son requeridos sólo en cantidades ínfimas para el crecimiento correcto de las plantas y tienen que ser agregados en cantidades muy pequeñas cuando no pueden ser provistos por el suelo.

Dentro del grupo de los macronutrientes, necesarios para el crecimiento de las plantas en grandes cantidades, los **nutrientes primarios** son nitrógeno, fósforo y potasio.

Los **nutrientes secundarios** son magnesio, azufre y calcio. Las plantas también los absorben en cantidades considerables.

Los **micronutrientes o microelementos** son el hierro (*Fe*), el manganeso (*Mn*), el zinc (*Zn*), el cobre (*Cu*), el molibdeno (*Mo*), el cloro (*Cl*) y el boro (*B*). Ellos son parte de sustancias claves en el crecimiento de la planta, siendo comparables con las vitaminas en la nutrición humana. Son absorbidos en cantidades minúsculas, su rango de provisión óptima es muy pequeño. Su disponibilidad en las plantas depende principalmente de la reacción del suelo. El suministro en exceso de boro puede tener un efecto adverso en la cosecha subsiguiente.

Algunos microelementos pueden ser tóxicos para las plantas a niveles sólo algo más elevados que lo normal. En la mayoría de los casos esto ocurre cuando el pH es de bajo a muy bajo. La toxicidad del aluminio y del manganeso es la más frecuente, en relación directa con suelos ácidos.

Es importante notar que todos los nutrientes, ya sean necesarios en pequeñas o grandes cantidades, cumplen una función específica en el crecimiento de la planta y en la producción alimentaria, y que un nutriente no puede ser sustituido por otro.

### A.2.3 Fotosíntesis

A través de la evaporación de grandes cantidades de agua durante el día, los nutrientes tomados del suelo son llevados a las hojas de las plantas.

La acción importante tiene lugar en las hojas verdes. Este proceso es denominado fotosíntesis. Esta es una manera natural de transformar los elementos inorgánicos tomados por las plantas del aire y del suelo en materia orgánica, con la ayuda de la energía de la luz solar: la energía de la luz se transforma en energía química (figura A.1).

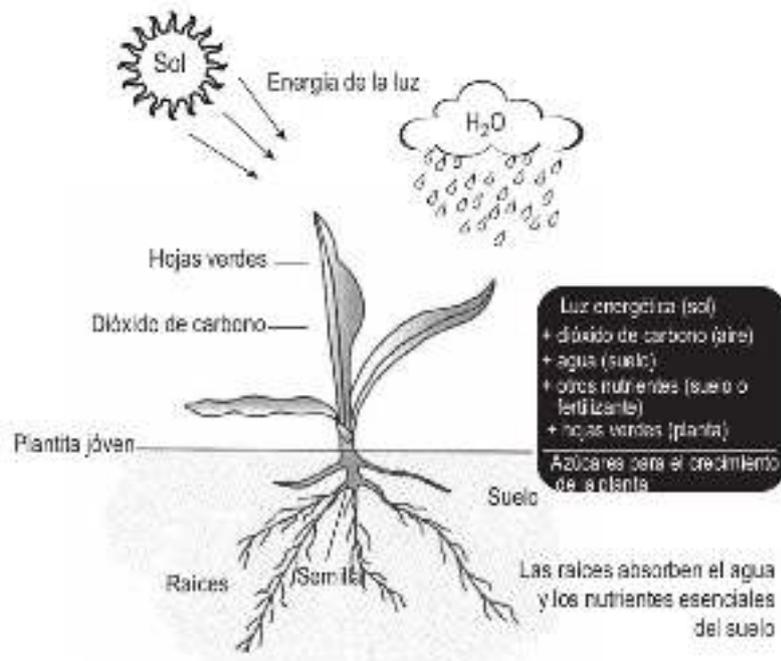


Figura A.1: *Las plantas producen azúcar de la luz solar, del aire, del agua y de los nutrientes del suelo.*

La importancia fundamental de la fotosíntesis se debe al hecho de que el dióxido de carbono y el agua, que son energéticamente sin valor, se convierten en carbohidratos (azúcar), que son los materiales básicos para la síntesis de todas las otras sustancias orgánicas producidas por las plantas. Sin la fotosíntesis no habría vida en la tierra.

Un suministro suficiente de nutrientes es importante para un funcionamiento correcto de este proceso. Esto se debe al hecho de que si uno de los nutrientes del suelo no está presente, la fotosíntesis se retrasa (figura A.2). Si el nutriente está presente, pero en cantidad insuficiente, la planta desarrolla signos de carencia (los síntomas de deficiencia), como nosotros, cuando no logramos alimentarnos correctamente. El crecimiento de una planta depende de un suministro suficiente de cada nutriente, y el rendimiento está limitado por los nutrientes que son restringidos (factor mínimo limitativo del rendimiento). En las prácticas agrícolas, este es el caso para el nitrógeno, el fósforo, el potasio, el magnesio y el azufre. De allí, que estos nutrientes tienen que ser aplicados en la forma de fertilizantes minerales para obtener rendimientos satisfactorios.

Los factores interactúan y un cultivo puede hacer mejor uso del factor que limita el crecimiento cuando los otros factores se acercan a su óptimo



El rendimiento del cultivo no puede ser mayor que lo que permitan los nutrientes más limitantes del suelo

Figura A.2: *Para lograr los rendimientos más altos posibles ningún nutriente debe ser limitado.*

## A.3 Suelos

La mejor respuesta al uso de fertilizantes se obtiene si el suelo tiene un nivel elevado de fertilidad. Los principales factores determinantes de la fertilidad del suelo son: la materia orgánica (incluyendo la biomasa microbiana), la textura, la estructura, la profundidad, el contenido de los nutrientes, la capacidad de almacenamiento (capacidad de adsorción<sup>1</sup>), la reacción del suelo y la ausencia de los elementos tóxicos (por ejemplo: aluminio libre). Los suelos difieren ampliamente en estos factores. Para saber como mejorar la fertilidad baja o moderada del suelo, los agricultores deberán tener un conocimiento básico de su suelo. [8]

### A.3.1 ¿Qué es el suelo?

El suelo es un material extraordinario. Es la capa superficial de la tierra, la que ha sido transformada muy despacio por la descomposición a través de la acción meteorológica, la acción de la vegetación y del ser humano. El material original del cual un suelo se forma puede ser la roca subyacente o los depósitos de los ríos y de los mares (suelos aluvionales) y del viento (suelos eólicos, tales como el loess) o suelos de cenizas volcánicas.

El suelo da soporte a las plantas en forma de una capa permeable para las raíces y es una especie de depósito para los nutrientes y el agua. Dependiendo de su composición, los suelos difieren en su capacidad para proveer los diferentes nutrientes. Contrario a lo que frecuentemente se cree, el color del suelo revela muy poco respecto a la fertilidad del mismo.

### A.3.2 Los componentes del suelo, su textura y estructura

El suelo está compuesto de partículas minerales de tamaños diferentes, procedentes de la alteración del material parental, y de materia orgánica (por ejemplo residuos de plantas y de animales), así como de cantidades variables de agua y de aire.

Las partículas sólidas son clasificadas por tamaño en: piedra y grava (de más de 2 mm de diámetro), arena (de 2,0 a 0,02 mm), limo (de 0,02 a 0,002 mm) y arcilla (menos de 0,002 mm).

---

<sup>1</sup>Adsorción en los suelos se refiere a la atracción / adhesión de las moléculas del agua y de iones en la superficie de partículas de materia orgánica o de arcilla. Absorción se refiere a la penetración a través la superficie cuando el agua y los nutrientes son captados por las raíces de las plantas.

La *textura del suelo* se refiere a las proporciones relativas de arena, limo y arcilla contenidas en el suelo. Dependiendo de su textura, los suelos son descritos como arenas, francos arenosos, francos, francos arcillosos, arcillas, etc. Los suelos pueden también ser denominados «ligeros» (por ejemplo arenas y francos arenosos), «medios» (por ejemplo francos) o «pesados» (por ejemplo francos arcillosos y arcillas) basados en su facilidad de laboreo.

La *estructura del suelo* se refiere a la agregación de las partículas del suelo más finas en fragmentos o unidades más grandes. Una mezcla de suelo bien estructurado contiene en volumen aproximadamente 50 por ciento de material sólido y 25 por ciento de aire y agua respectivamente.

La textura del suelo y su estructura son de importancia preponderante para la fertilidad del suelo y, consecuentemente, para el crecimiento de las plantas. Los suelos gruesos (o arenosos) no retienen bien el agua y los nutrientes. Se deben tener cuidados especiales cuando se aplican los fertilizantes para evitar la lixiviación <sup>2</sup> de nutrientes (nitrógeno y potasio). Los suelos arcillosos, por otra parte, pueden acumular humedad y nutrientes, pero pueden tener drenaje y aireación inadecuados. Se puede mejorar la estructura de los suelos suministrándoles enmiendas cálcicas y materia orgánica.

El laboreo ayuda a aumentar la *profundidad del suelo* (el volumen de suelo accesible al sistema radicular), pero tiende también a dispersar los agregados del suelo. La materia orgánica, por otra parte, tiende a fortalecer y estabilizar la estructura del suelo, así como la capacidad de almacenamiento.

En las zonas templadas, donde el clima es fresco y húmedo y la descomposición de los residuos de las plantas es baja, los suelos pueden llegar a ser muy ricos en materia orgánica (mayor al cinco por ciento). En las regiones subtropicales caracterizadas por un clima cálido, árido, los suelos son normalmente pobres en contenido de materia orgánica (algunas veces menor al 0,1 por ciento), pero a menudo son de una estructura excelente debido a la abundancia de calcio. Muchos suelos en los trópicos, en donde la materia orgánica rápidamente desaparece del suelo bajo la influencia del clima y de la actividad microbiológica, deben su estructura estable a los óxidos de hierro y de aluminio.

---

<sup>2</sup>Extracción de la materia soluble de una mezcla mediante la acción de un disolvente líquido.

## A.4 Fertilizantes

### A.4.1 ¿Qué es un fertilizante?

Cualquier material natural o industrializado, que contenga al menos cinco por ciento de uno o más de los tres nutrientes primarios ( $N$ ,  $P_2O_5$ ,  $K_2O$ ), puede ser llamado fertilizante. Fertilizantes fabricados industrialmente (figura A.3) son llamados *fertilizantes minerales*.

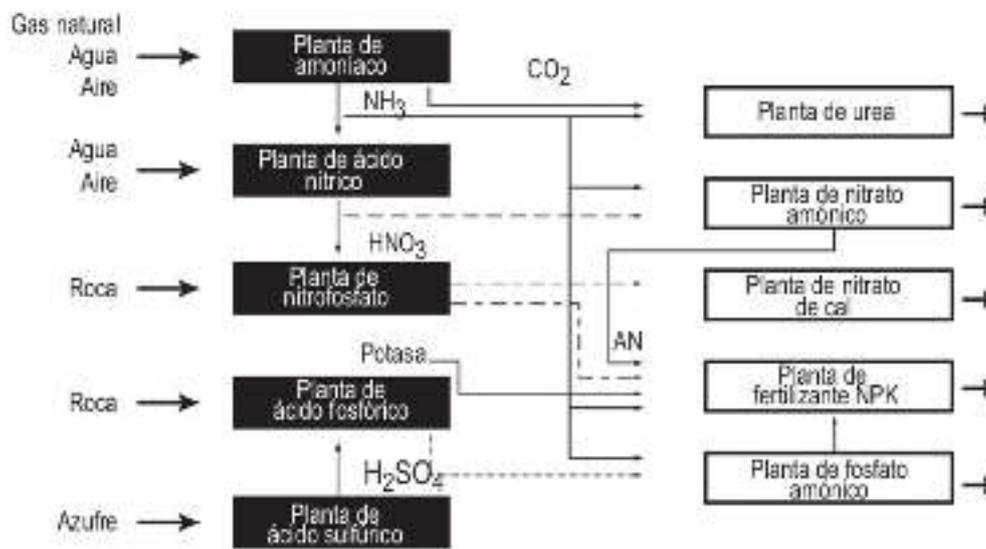


Figura A.3: Diagrama de flujo de la producción de fertilizantes.

La presentación de los fertilizantes minerales es muy variada. Dependiendo del proceso de fabricación, las partículas de los fertilizantes minerales pueden ser de muy diferentes tamaños y formas: gránulos, píldoras, «perladados», cristales, polvo de grano grueso / compactado o fino. La mayoría de los fertilizantes es provista en forma sólida. Los fertilizantes líquidos y de suspensión son importantes principalmente en América del Norte.

### A.4.2 Aplicación de fertilizantes

El método de aplicación de los fertilizantes (abono orgánico o fertilizantes minerales) es un componente esencial de las buenas prácticas agrícolas. La cantidad y la regulación de la absorción dependen de varios factores, tales como la variedad del cultivo, la fecha de siembra, la rotación de cultivos, las

condiciones del suelo y del tiempo. En las prácticas agrícolas eficientes, el agricultor escoge la cantidad y la oportunidad en el tiempo, de manera que las plantas usen los nutrientes tanto como sea posible. Para un aprovechamiento óptimo del cultivo y un potencial mínimo de contaminación del medio ambiente, el agricultor debe suministrar los nutrientes en el momento preciso que el cultivo los necesita. Esto es de gran relevancia para los nutrientes móviles como el nitrógeno, que pueden ser fácilmente lixiviados del perfil del suelo, si no es absorbido por las raíces de las plantas.

En los casos de aplicación de urea y de fosfato diamónico, las pérdidas pueden darse a través de la emisión de amoníaco en el aire. Ambos fertilizantes deben ser incorporados en el suelo inmediatamente después de la aplicación, si no hay una lluvia inmediata o riego para incorporarlos en el suelo. Es de importancia particular en los suelos alcalinos (calcáreos).

Todos los nutrientes primarios y secundarios deberían ser incorporados inmediatamente después de la aplicación en las regiones en las que se esperan lluvias abundantes, para evitar pérdidas debidas al escurrimiento y a la erosión.

Cuando el fertilizante es aplicado a mano, debería tenerse un cuidado extremo para distribuir los nutrientes uniformemente y en las dosis exactas. Donde se usa equipo de aplicación de fertilizantes, éste debería ser ajustado a fin de asegurar un esparcimiento uniforme y en proporciones correctas. El equipo debe ser mantenido en buenas condiciones.

### **Al voleo**

El esparcimiento a voleo del fertilizante (es decir aplicándolo a la superficie de un campo) es usado principalmente en cultivos densos no sembrados en filas o en filas densas (pequeños granos) y en prados. Es también usado cuando los fertilizantes deberían ser incorporados en el suelo después que la aplicación sea efectiva (fertilizantes fosfatados), o para evitar las pérdidas por evaporación de nitrógeno (urea, fosfato diamónico). La incorporación a través de la labranza o arada es también recomendada para aumentar el nivel de fertilidad de la capa arada entera. Si el fertilizante es esparcido a voleo a mano o con un equipo de distribución de fertilizante, el esparcimiento debería ser tan uniforme como sea posible.

### **Localización en bandas o hileras**

Cuando la aplicación del fertilizante es localizada (poniendo el fertilizante sólo en lugares seleccionados en el campo), el fertilizante es concentrado en partes específicas del suelo durante la siembra, que puede ser ya sea en bandas

o en una franja debajo de la superficie del suelo o al lado de, y debajo de, la semilla. Este proceso puede ser realizado a mano o por medio de equipos especiales de siembra y / o equipos para la aplicación del fertilizante (sembradora de semilla y fertilizante). Es preferible usarlo para cultivos en hileras, que tienen relativamente grandes espacios entre las filas (maíz, algodón y caña de azúcar); o en suelos con una tendencia a la fijación de fosfato y potasio; o donde cantidades relativamente pequeñas de fertilizantes son usadas en suelos con un bajo nivel de fertilidad.

En los lugares en los cuales los cultivos son trabajados a mano y plantados en colinas, el número de gramos de fertilizantes recomendado es ubicado en la hilera o en el hoyo cavado (medido preferiblemente con un tarro o lata), debajo, o al lado de la semilla, y cubierto con tierra. Se debe tener mucho cuidado que ningún fertilizante sea ubicado demasiado cerca a la semilla o a la plántula para evitar la toxicidad, es decir daño por sal en el sembrado (quemando las raíces).

### **Aplicación en cobertera**

El abono en cobertera (esparciendo el fertilizante a voleo sobre un cultivo en pie) es usado principalmente en cultivos de granos pequeños y grandes y en cultivos tales como forrajes. La aplicación en cobertera es una práctica normal en suelos en los cuales hay necesidad de nitrógeno adicional y en cultivos en los cuales una aplicación simple de la cantidad total de nitrógeno necesario en el momento de la siembra podría llevar a pérdidas a través de la lixiviación, o donde los cultivos muestran una necesidad especial de nitrógeno en ciertas etapas de desarrollo. El nitrato móvil se mueve hacia abajo en el suelo y puede ser tomado por las raíces de las plantas.

El abono en cobertera de potasio, que no se mueve en el suelo al mismo grado del nitrógeno, podría ser recomendado en suelos ligeros, es decir aplicando la cantidad total dividida entre un abono de fondo y uno de cobertera.

El fosfato difícilmente se mueve en el suelo. De aquí que sea aplicado usualmente antes o en el momento de la siembra o de la plantación (aplicación de fondo), preferiblemente combinado con potasio y parte del nitrógeno. El nitrógeno restante debería ser aplicado como un abono en cobertera en una o más aplicaciones separadas.

### **Aplicación entre líneas**

Aplicar el fertilizante entre líneas es la práctica de ponerlo al lado de las plantas espaciadas ampliamente en hileras tales como maíz, algodón y caña de azúcar. Los árboles y otros cultivos perennes son también abonados de

esta manera.

### **Aplicación foliar**

La aplicación foliar es el método más eficiente de suministro de micronutrientes (pero también de N o NPK en una situación crítica para el cultivo) que son necesarios solamente en pequeñas cantidades y pueden llegar a ser indisponibles si son aplicados en el suelo. Para minimizar el riesgo de quemado de las hojas, la concentración recomendada tiene que ser respetada y propagada preferiblemente en días nublados y en las primeras horas de la mañana o en las últimas del atardecer (para evitar que las gotitas se sequen inmediatamente).

### **A.4.3 Síntomas de carencia en las plantas**

Si las plantas no logran absorber suficiente cantidad de un nutriente particular que necesitan, los síntomas de carencia se muestran en la apariencia general así como en el color de la planta. Los síntomas muy típicos son: las plantas deficientes de nutrientes tienen un crecimiento retrasado (pequeñas), las hojas tienen un color verde pálido o un color verde oscuro azulado, amarillento o tienen puntos rojizos o franjas. En la cosecha, los rendimientos a veces se reducen severamente.

La identificación de la deficiencia de nutrientes (signos de carencia) es fácil en algunos casos, pero difícil en otros. La razón de ello es que los síntomas de deficiencia de dos nutrientes diferentes pueden ser casi idénticos o que la deficiencia de un nutriente está enmascarando (escondiendo) los síntomas de otra deficiencia. Los signos de carencia pueden también aparecer o desaparecer con los cambios meteorológicos (cambio entre humedad y sequía). Se puede dar también el caso de plantas que sufren de una deficiencia latente, no aún visible (deficiencia escondida). Más aún, se debería tener cuidado de no confundir los signos de carencia con virus o síntomas de enfermedades de hongos o daños causados por los insectos / plagas.

Los síntomas claros se darán sólo en casos de deficiencia extrema de un nutriente. Los signos de carencia de un nutriente deficiente que se han indicado deberían ser verificados por el análisis del suelo, de las plantas, de tejidos y / o experimentos de campo (experimentos en macetas en la estación experimental local).

### Deficiencia de nitrógeno

- Plantas de crecimiento retrasado (comunes a todas las deficiencias), plantas poco saludables y pequeñas.
- Pérdida del color verde (común a todas las deficiencias), decoloración amarillenta de las hojas a partir de la punta (clorosis en las puntas<sup>3</sup>), viejas hojas parduscas.
- Las hojas más bajas pueden morir prematuramente mientras la cima de la planta permanece verde (algunas veces confundido con la falta de humedad).

### Deficiencia de fósforo

- Crecimiento retrasado.
- Hojas verdes oscuras azuladas, moradas y parduscas a partir de la punta (a menudo también en los tallos).
- Plantas lentas a madurar, permaneciendo verdes.
- Los frutos pueden ser deformados, los granos pobremente rellenos.

### Deficiencia de potasio

- Crecimiento retrasado.
- Hojas que muestran decoloración a lo largo de los márgenes exteriores desde las extremidades a la base.
- Bordes exteriores de las hojas amarillentos o rojizos, llegando a ser parduscos o quemados y muertos (necrosis<sup>4</sup> de los bordes); hojas marchitas.
- Encamado.
- Las hojas de los árboles son amarillentas, rojizas, dobladas o curvadas.
- Los frutos son pequeños, pueden tener lesiones o puntos dañados, pobre almacenamiento y mantenimiento de la calidad.

---

<sup>3</sup>*Clorosis*, es decir una decoloración amarillenta de las hojas, indica una formación afectada de clorofila; la clorosis es *reversible* mediante la aplicación del nutriente necesario.

<sup>4</sup>*Necrosis*, es decir decoloración pardusca de las hojas o en partes de las hojas, que indican la muerte del tejido. Es *irreversible*, es decir no puede ser curada con la aplicación de nutrientes.

**Deficiencia de magnesio**

- Decoloración amarillenta entre venas de hojas verdes (clorosis típica de franjas; el Mg es parte del pigmento de las plantas verdes, la clorofila, necesario para la fotosíntesis), seguido finalmente por manchas y necrosis (muerte de los tejidos), comenzando en las viejas hojas bajas.

**Deficiencia de azufre**

- Toda la planta es amarilla (a menudo es confundido con deficiencia de N).
- Hojas más altas amarillentas, aún las hojas más jóvenes.
- Madurez del cultivo retrasado.

**Deficiencia de calcio**

- Hojas jóvenes de amarillentas a ennegrecidas y curvadas (manchas marrones).
- Las plantas parecen marchitas.
- Los frutos pueden estar podridos (tomate).
- Las raíces son mal formadas.

**Deficiencia de boro**

- Hojas frecuentemente deformadas y arrugadas, gruesas y quebradizas, blancas, con manchas irregulares entre las venas.
- Las zonas de crecimiento de los brotes morirán, con crecimiento tupido cerca de las puntas, crecimiento en longitud inhibido con entrenudos acortados.
- Manchas necróticas o cavidades empapadas de agua en la remolacha azucarera y otros tubérculos y en la médula de los tallos.
- Frutos pequeños y pobremente formados, a menudo con nódulos acorchados y lesiones.
- Baja producción de semillas debida a una fertilización incompleta.

**Deficiencia de zinc**

- Crecimiento retrasado de las hojas.
- Árboles de frutas con típicos retoños cortos y tupidos.
- Franjas cloróticas (bandas blanqueadas) entre las venas de la hoja en la parte más baja de la misma.
- En algunos casos, las hojas tienen un color verde olivo o verde grisáceo (muy similar a la deficiencia de P).

**Deficiencia de hierro**

- Hojas jóvenes con clorosis típica entre las venas verdes, a lo largo de toda la longitud de las hojas (en suelos calcáreos normalmente).

Aunque los signos de carencia son útiles para señalar al agricultor los trastornos nutricionales, aún cuando estos signos claramente visibles de deficiencia son rápidamente corregidos a través de la aplicación adecuada de suministros de nutrientes, en general el rendimiento de la cosecha aún será más bajo en comparación a los cultivos que son bien nutridos desde la siembra a la cosecha. De allí que las buenas prácticas agrícolas deberían evitar todas las deficiencias nutricionales para cualquier cultivo a través de todo el período de crecimiento. Para alcanzar dicho objetivo, los métodos más útiles son los análisis de suelos, de las plantas, de tejidos y los experimentos en el campo.

## A.5 Fertilizantes sólidos

### A.5.1 Propiedades de los fertilizantes

A la hora de elegir un fertilizante o enmienda deben considerarse ciertas propiedades de los mismos que hacen a la calidad de su aplicación. Entre ellas pueden mencionarse:

#### Tamaño de partícula

Este es el principal factor que afecta la distribución de los fertilizantes sólidos y enmiendas. Las partículas más grandes son arrojadas por el distribuidor a una mayor distancia, en comparación con las más pequeñas. Esto es así porque la fuerza centrífuga sobre las partículas es proporcional a la masa de las mismas. Como ejemplo, puede mencionarse un estudio realizado con urea, donde gránulos de 4,7 mm de diámetro alcanzaron una distancia de dispersión de 20 m, mientras que aquellos de 1,7 mm sólo alcanzaron los 10 metros.

Comúnmente el tamaño de partícula es determinado por el Número Guía de Tamaño (SGN, por sus siglas en inglés “Size Guide Number”). El SGN se calcula como el tamaño de partícula en mm al cual se retiene el 50% de las partículas (mediana), multiplicado por 100 y redondeado al cinco más cercano. Como ejemplo, si se retiene el 50% de un fertilizante en el tamiz de 3,18 mm, entonces su SGN es de 320. En la Tabla A.1 se muestra el SGN de distintos fertilizantes y de distintas partidas de urea comercializadas en la localidad de Balcarce.

Fertilizante	SGN
Sulfato de amonio	400
Sulfato de calcio (yeso)	340
Fosfato monoamónico	330
Carbonato de calcio y magnesio (dolomita)	310
Superfosfato simple	260
Urea 1	285 a
Urea 2	270 b
Urea 3	250 b

Tabla A.1: *Número Guía de Tamaño (SGN) de distintos fertilizantes granulados y de tres partidas de urea. Letras distintas entre partidas de urea indican diferencias significativas según test LSD (5%).*

Cabe destacar la variabilidad en el SGN entre fertilizantes, e incluso entre partidas de un mismo fertilizante. Conocer el SGN de los fertilizantes es de fundamental importancia a la hora de evaluar su aptitud para el mezclado físico. Fertilizantes con diferencias considerables en granulometría, responderán en forma diferencial a las fuerzas y acciones mecánicas a las que serán sometidos durante el mezclado, almacenamiento, transporte y aplicación, produciéndose la segregación de las partículas. La mayoría de las partículas más pequeñas tienden a acumularse en la parte central y superior de la pila de almacenamiento, mientras que las partículas más grandes, lo hacen en la base y en la parte externa de la pila. La misma situación se da dentro de las tolvas, debido a las vibraciones producidas durante el transporte del fertilizante a granel. Una vez calculado el SGN de cada fertilizante de la mezcla, se comparan los valores y se determina si los mismos se encuentran dentro de los límites de compatibilidad (Tabla A.2).

Diferencia en SGN	Compatibilidad esperada
0 - 10 %	Compatible
11 - 20 %	Compatibilidad moderada
> 20 %	Incompatible

Tabla A.2: *Compatibilidad de fertilizantes según Número Guía de Tamaño (SGN) (Fertilizer Manual, 1998).*

Como ejemplo, y en función a los valores de la Tabla A.1, puede mencionarse que el sulfato de calcio (SGN=340) y la urea de la partida 3 (SGN=250) no pueden mezclarse ya que la diferencia entre sus SGN es mayor al 20%.

### Distribución del tamaño de partículas

No solo resulta necesario conocer el tamaño de las partículas, sino también su distribución. A mayor uniformidad del producto, menor es la segregación al momento de aplicación, y por lo tanto se logrará una distribución del fertilizante más uniforme.

En la figura A.4 se muestra la distribución del tamaño de partículas para distintos fertilizantes comercializados en la localidad de Balcarce. Tal como puede observarse, el fosfato monoamónico presenta una gran uniformidad en el tamaño de sus partículas, ya que más del 80% de las mismas se encuentran en el rango de 2,8 a 4 mm.

Una distribución similar muestra el sulfato de calcio, mientras que en la urea y el sulfato de amonio la distribución es más heterogénea.

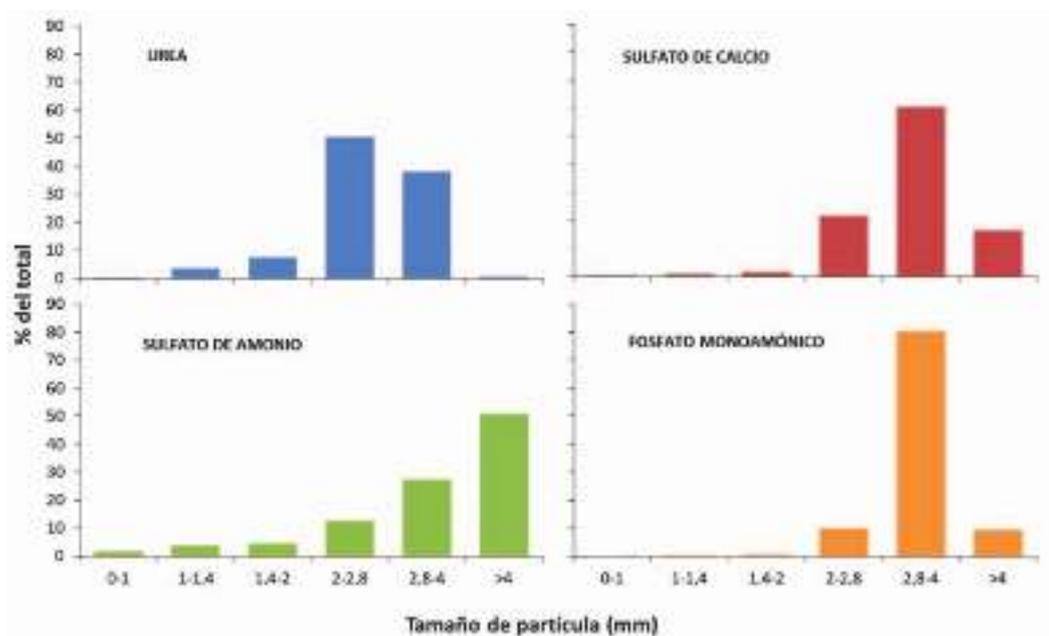


Figura A.4: *Distribución del tamaño de partículas.*

### Higroscopicidad y humedad crítica relativa

La higroscopicidad es la capacidad que tienen los fertilizantes de absorber humedad bajo determinadas condiciones de humedad y temperatura. La mayoría de los fertilizantes son higroscópicos debido a su alta solubilidad en agua. A mayor higroscopicidad de un fertilizante, más fácilmente se humedece, volviéndose sus partículas blandas y pegajosas. Esto afecta su fluidez y por consiguiente se deteriora la calidad de su esparcimiento. Además, el humedecimiento de los fertilizantes lleva al apelmazamiento, el cual ocurre como resultado de la formación de puentes cristalinos fuertes, y fuerzas adhesivas entre los gránulos. Esto es un efecto indeseable en los fertilizantes ya que también afecta la distribución del material sobre el lote. Una solución a este problema en ciertos fertilizantes, es la aplicación de un agente anti-apelmazante que recubre el gránulo (coating), el cual reduce la tasa de absorción de humedad del producto.

La humedad crítica relativa (HCR) de un fertilizante es la humedad relativa del ambiente (determinada a 30°C) a partir de la cual un fertilizante comienza a absorber humedad del medio que lo rodea (Tabla A.3). La HCR es una propiedad de suma importancia para evaluar fuentes a emplear en mezclas, ya que generalmente la HCR de las mezclas es más baja que la

de cada fuente en forma individual (Tabla A.3). Un caso muy particular se presenta al mezclar urea y nitrato de amonio, donde la HCR de la mezcla es de sólo 18%. Considerando que la mayoría de los días se dan condiciones de humedad relativa ambiental por encima de ese valor, y que el humedecimiento de los fertilizantes dificulta el manipuleo y aplicación, es que se indica que dichos fertilizantes son incompatibles.

<b>Fertilizante</b>	<b>U</b>	<b>NA</b>	<b>SA</b>	<b>SPT</b>	<b>DAP</b>	<b>MAP</b>
Urea (U)	70					
Nitrato de amonio (NA)	18	55				
Sulfato de amonio (SA)	55	55	75			
Superfosfato triple (SPT)	60	50	70	80		
Fosfato diamónico (DAP)	50	55	70	75	70	
Fosfato monoamónico (MAP)	55	55	70	80	70	70

Tabla A.3: *Humedad crítica relativa (HCR) de algunos fertilizantes y sus mezclas (a 30° C).*

### Dureza de la partícula

Indica la fuerza que debe aplicarse para romper las partículas de fertilizante. Esta ruptura afecta la densidad y tamaño de las partículas, impactando sobre el almacenamiento, transporte y distribución del producto. A menor dureza, mayor es la formación de polvillo durante el manipuleo y aplicación del fertilizante, lo cual es una característica indeseable. La dureza se relaciona con la distancia alcanzada por las partículas aplicadas, determinada en parte por la velocidad de giro del disco distribuidor.

Esto es así, porque para evitar la ruptura de los fertilizantes menos duros, el disco distribuidor debe girar a una menor velocidad, lo que genera una menor distancia de lanzamiento del fertilizante y por ende un menor ancho de labor. Por este motivo, resulta importante conocer la adecuada velocidad de giro de los discos, la cual se determina como la máxima velocidad a la que no se observa ruptura de partículas. Una forma sencilla de medir la dureza de las partículas en el campo es mediante la aplicación de presión en gránulos individuales. Así, partículas que se rompen al ejercerles presión entre los dedos índice y pulgar, se consideran poco duras, si la ruptura se produce al presionarlas entre el dedo y una superficie dura, se dice que tienen dureza intermedia, mientras que se consideran duras si no se rompen de esta última forma.

### Densidad de partícula y densidad aparente

La densidad de partícula es una propiedad que afecta el ancho de labor efectivo de la aplicación. Partículas más densas alcanzan una mayor distancia, y generalmente, pueden aplicarse con una mayor velocidad de giro de los platos, dado que suelen tener una mayor dureza de partícula. Por su parte, la densidad aparente es una característica que debemos conocer a la hora de ajustar la dosis que queremos aplicar, tal como veremos más adelante. Su determinación es muy sencilla, ya que sólo debemos llenar con el fertilizante una probeta u otro recipiente de volumen conocido y pesarlo, obteniendo los kg/l del producto.

En la tabla A.4 se muestran valores promedio de densidad aparente para distintos fertilizantes, y valores medidos por nosotros en distintas partidas de urea comercializadas en la localidad de Balcarce. Cabe remarcar que al igual que lo ocurrido con el SGN, hay una gran variabilidad de densidad aparente entre fertilizantes y entre partidas de un mismo fertilizante (tabla A.4). Esto genera la necesidad de determinar la densidad del producto previo a cada aplicación.

Fertilizante	Densidad aparente ( $kg/m^3$ )
Urea	700 - 820
Sulfato de calcio	950 - 1100
Nitrato de amonio	850 - 975
Sulfato de amonio	785 - 1040
Superfosfato triple	950 - 1200
Fosfato monoamónico	900 - 1100
Fosfato diamónico	875 - 1100
Urea 1	710 b
Urea 2	710 b
Urea 3	740 a

Tabla A.4: *Densidad aparente de fertilizantes y de tres partidas de urea. Letras distintas entre partidas de urea indican diferencias significativas según test LSD (5%).*

### Forma de las partículas

La forma de las partículas puede variar entre los fertilizantes. Ésta puede ser redonda (esférica o en forma de huevo), cúbica, rectangular o irregular. A mayor esfericidad de la partícula, mayor es la distancia que puede alcanzar,

debido a que mejora su aerodinamicidad. Además, las partículas irregulares son más propensas a la segregación que las esféricas. Sin embargo, la diferencia de tamaño de las partículas tiene mucho más impacto en la distancia de aplicación y la segregación, que la forma de las mismas.

## A.5.2 Tipos de fertilizantes y sus características

### Urea

Es un compuesto químico cristalino e incoloro; de fórmula  $CO(NH_2)_2$ . Es el principal producto terminal del metabolismo de las proteínas en los mamíferos, y en la orina humana se pueden encontrar hasta 20 gramos por litro. En cantidades menores se presenta en la sangre, el hígado, el corazón, los pulmones, los huesos y los órganos reproductivos.

El nitrógeno de la urea (que constituye el 80% del nitrógeno en la orina) procede de la degradación de los diversos compuestos con nitrógeno, sobre todo de los aminoácidos de las proteínas en los alimentos. Debido a su momento dipolar, es soluble en agua, en alcohol y ligeramente soluble en éter.

Este compuesto fue descubierto en la orina en 1727 por Herman Boerhaave, aunque este descubrimiento se atribuye a menudo al químico francés Hilaire Rouelle. En 1828, el químico alemán Friedrich Wöhler obtuvo urea artificialmente mediante el tratamiento de cianato de plata con cloruro de amonio:



Esta fue la primera vez que un compuesto orgánico era sintetizado artificialmente a partir de materiales de partida inorgánicos, sin la participación de organismos vivos. Los resultados de este experimento desacreditaron el vitalismo, la teoría de que los productos químicos de los organismos vivos son fundamentalmente diferentes de los de materia inanimada. Por este descubrimiento, algunos consideraran a Wöhler como el padre de la química orgánica. La síntesis de Wöhler fue diseñada posteriormente donde el cianato de plata fue reemplazado por el cianato de potasio y fue el procedimiento mediante el cual finalmente se continuó sintetizando la urea.

Este producto como fertilizante presenta la ventaja de proporcionar un alto contenido de nitrógeno, esencial en el metabolismo de la planta ya que se relaciona directamente con la cantidad de tallos y hojas, quienes absorben la

luz para la fotosíntesis. Además el nitrógeno está presente en las vitaminas y proteínas y se relaciona con el contenido proteico de los cereales.

### **Sulfato de calcio**

Es un compuesto químico cuya fórmula es  $CaSO_4$ . Su uso busca mejorar el rendimiento y la calidad de los productos de la cosecha, contribuyendo en una mejor asimilación del nitrógeno y un mejor metabolismo del fósforo y potasio, provocando así la mineralización más rápida de los recursos orgánicos del suelo. También hace que los suelos se renueven gradualmente evitando su acelerada degradación que pueden causar la utilización de fertilizantes químicos y abuso de los cultivos no rotativos.

Su aplicación a cualquier terreno permite el mejoramiento de las condiciones de humedad y las propiedades fisicoquímicas del suelo. Desplaza sales y corrige las deficiencias de calcio en los cultivos, no permite que las plantas a través de sus raíces se llenen de hongos y parásitos, teniendo así una planta vigorosa. No permite tener encopamiento de hojas, caída de flores, yemas y frutos, evita el color amarillento en el fruto del café, fortaleciendo así la estructura del tallo en las plantas.

El sulfato de calcio es usado en los diferentes cultivos (arroz, maíz, café, plátano, papa, frutales, cacao, algodón), además que se recomienda aplicar a los cultivos orgánicos; en costa sierra y selva. Debe aplicarse sólo en suelos donde existe abundante materia orgánica o de lo contrario si es acompañado de una fuente nitrogenada.

La composición aproximada del fertilizante es la siguiente:

- Azufre: 40%
- Calcio: 23%
- Fósforo: 14%
- Potasio: 7%
- Nitrógeno: 2%
- Otros: 14%

### **Nitrato de amonio**

El nitrato de amonio o nitrato amónico es una sal formada por iones nitrato y amonio. Su fórmula es  $NH_4NO_3$ . Se trata de un compuesto no inflamable, incoloro, higroscópico y altamente soluble en agua.

Este compuesto se obtiene por neutralización de ácido nítrico con hidróxido de amonio tras la evaporación del agua:



En el laboratorio se puede obtener por doble descomposición entre sulfato de amonio  $(NH_4)_2SO_4$  y nitrato de estroncio  $Sr(NO_3)_2$ , en disolución. Tras precipitar el sulfato de estroncio y filtrar la disolución que luego se evapora, se obtiene el nitrato de amonio en cristales o polvo blanco.



Es un fertilizante con un alto contenido de nitrógeno, alrededor del 33%. Su sencillez y bajo coste de producción le hacen ser uno de los compuestos nitrogenados más importantes. Uno de sus inconvenientes es que tiene tendencia a formar tortas al estar almacenado. Este problema se ha ido minimizando con el paso del tiempo con una granulación adecuada, la adición de agentes anti-higroscópicos y un mejor envasado.

### Sulfato de amonio

El sulfato de amonio es una sal de color blanco cuya fórmula química es  $(NH_4)_2SO_4$ , y se caracteriza por ser proveedora no sólo de nitrógeno sino también de azufre para mejorar el crecimiento y rendimiento de la planta.

Tanto el contenido de nitrógeno como el de sulfato están por encima del 20%. Por contener 100% de nitrógeno amoniacal, garantiza una larga duración y un suministro de nitrógeno sostenible, y evita su lixiviación<sup>5</sup> en el suelo. Además, apoya la disponibilidad de nutrientes secundarios como manganeso, hierro y boro en el suelo.

El procedimiento por el cual generalmente se obtiene este producto consta de hacer pasar amoníaco gaseoso mezclado con vapor de agua por un saturador, provisto con un agitador que contiene una disolución saturada de sulfato de amonio. Allí también se mantiene un 2% de ácido sulfúrico libre. De esta forma es que se produce la precipitación de la sal, según:



### Fosfato monoamónico

El fósforo (P) es químicamente muy reactivo y por ello no se encuentra en estado puro en la naturaleza. La apatita es la fuente natural de este elemento

<sup>5</sup>Proceso en el que un disolvente líquido pasa a través de un sólido pulverizado para que se produzca la disolución de uno o más de los componentes solubles del sólido.

en el suelo. Por meteorización es liberado a la solución del suelo en pequeñas cantidades para ser absorbidas por las plantas como iones ortofosfatos. Pero la mayor parte de éste forma compuestos con otros elementos como calcio, hierro, aluminio, o ciertos minerales arcillosos y reducen la disponibilidad del fósforo para las plantas, por lo que la demanda de este elemento es crucial cubrirla vía fertilización.

Es una de las sales de fosfato de amonio solubles en agua que se puede producir cuando el amoníaco reacciona con el ácido fosfórico hasta que la disolución es claramente ácida. Cristaliza en prismas tetragonales y su fórmula química es  $(NH_4)H_2PO_4$ . Provee al suelo de nitrógeno y fósforo principalmente, rondando en concentraciones de 11% y 23% respectivamente.



### Fosfato diamónico

El hidrógenofosfato de amonio o fosfato diamónico,  $(NH_4)_2HPO_4$ , también es una sal que se puede producir a partir de la reacción de neutralización entre el ácido fosfórico y el amoníaco. Tiene una muy buena solubilidad en agua.



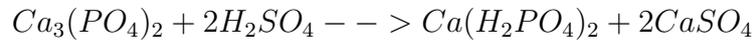
Este producto es utilizado principalmente como fertilizante. Cuando se aplica como nutriente de las plantas, aumenta temporalmente el pH del suelo, pero a lo largo del tiempo el suelo tratado se vuelve más ácido que antes debido a la nitrificación del amonio. Es incompatible con productos químicos alcalinos porque su ion amonio se convierte en amoniaco en un entorno de pH alto. La concentración de nitrógeno es de 18% y la de los fosfatos alcanza valores de 46%.

Este fertilizante puede utilizarse para todo tipo de cultivos y toda clase de suelos. No presenta problemas para su transporte y almacenamiento por no ser higroscópico, no tender a apelmazarse y no generar polvo.

### Superfosfato

El superfosfato es un tipo de fertilizante a base de fósforo y calcio. Su fórmula química es  $Ca(H_2PO_4)_2$ . Es un compuesto de fosfato granular y grisáceo, altamente concentrado y soluble en agua con una disponibilidad de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de más del 46%. Para producirlo el fosfato contenido en la roca fosfórica se trata y se extrae con ácido sulfúrico. El resultado es el ácido

fosfórico que reacciona de nuevo con la roca fosfórica con el fin de obtener una mayor concentración de  $P_2O_5$  en el fertilizante.



El superfosfato es la principal categoría de fertilizantes de fosfato, y es absorbido rápidamente por las plantas. Dan resultados superiores a los fosfatos simples, especialmente al comienzo de la vegetación, principalmente por la mejor difusión en la capa arable del suelo del ácido fosfórico soluble.

Según la cantidad de fósforo, cuantificado en  $P_2O_5$  (pentóxido de fósforo), se clasifican en superfosfato simple (SSP), superfosfato enriquecido (ESP) y superfosfato triple (TSP). Pueden ser utilizados en todo tipo de cultivos y suelos.

## A.6 Máquinas para fertilizantes líquidos

### Estiércol líquido con bomba centrífuga

Es el procedimiento menos complejo de fertilización líquida. Consiste en bombear el abono en por unos conductos y que golpeen contra un obstáculo que genera una aplicación lo más uniforme posible en el suelo. En la figura A.5 se puede apreciar una máquina abonadora de estas características.



Figura A.5: *Abonadora de estiércol líquido con bomba centrífuga.*

### Estiércol líquido con mangueras

El abono es bombeado de la misma forma que el anterior pero en este caso, a través de mangueras que lo distribuyen a la ancho del área de incidencia del equipo. De esta forma se logra una mejor distribución y una menor compactación del suelo. Esto último mejora su permeabilidad al aire y al agua, fundamentales para el crecimiento de plantas y microorganismos. En la figura A.6 se puede apreciar un tractor arrastrando una abonadora de estas características.



Figura A.6: *Abonadora de estiércol líquido con mangueras.*

### **Estiércol líquido con discos**

Es el sistema más complejo de esta clase, ya que a cada manguera se le anexa un disco de arado. Ellos generan un surco donde es vertido el abono, y el resultado es una zona de alta calidad para sembrar por su riqueza en nitrógeno. Este procedimiento también ayuda al control de plagas e insectos y a que el agua de riego se distribuya más uniformemente. En la figura A.7 se pueden observar las mangueras y los discos de una abonadora de estas características.



Figura A.7: *Abonadora de estiércol líquido con discos.*

## **Apéndice B**

### **Sistema de control - Arduino**

## B.1 Control de un motor de corriente continua

En la siguiente sección se muestra como se controló un motor de corriente continua con el método PWM con Arduino. Para realizar esto se necesitaron los siguientes componentes:

- Placa de Arduino UNO
- Motor de 5 [V]
- Una resistencia de  $1k\Omega$
- Un transistor bipolar NPN de baja potencia (2N2222A [11])

En la imagen B.1 se puede observar un esquema de la conexión del circuito.

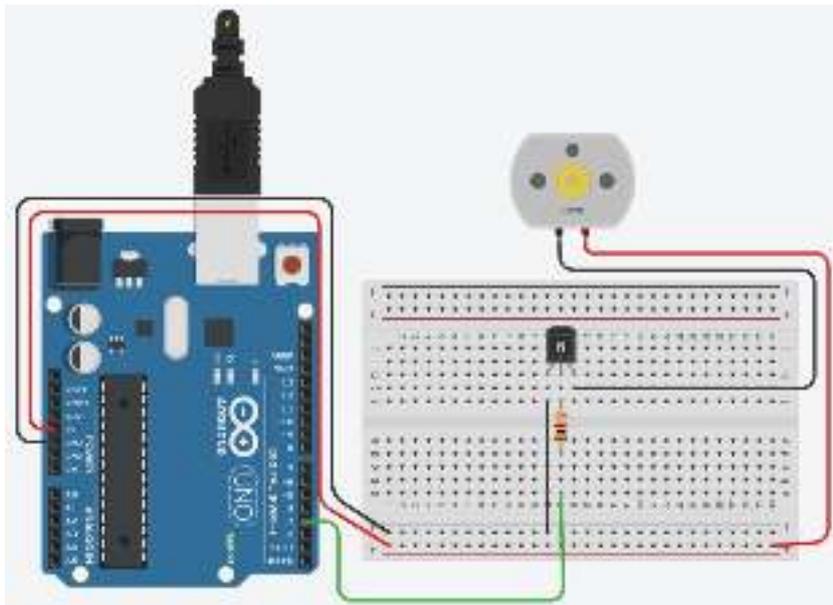


Figura B.1: *Esquema de la conexión.*

### B.1.1 Ejemplo de los códigos utilizados para el control de un motor DC utilizando PWM

Para el motor parado

```
int MOTOR=3;
```

```

void setup(){
  pinMode(MOTOR, OUTPUT);
  analogWrite(MOTOR, 0);
}
void loop(){
  analogWrite(MOTOR, 0);
}

```

En la figura B.2 se observa el circuito y el motor a  $0rpm$ .

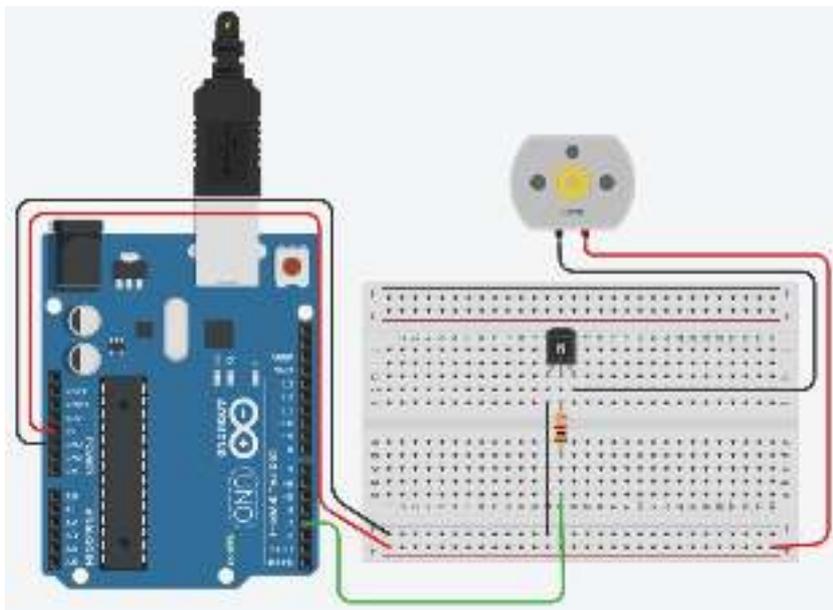


Figura B.2: Motor parado. RPM: 0.

### Para el motor a un medio de régimen

```

int MOTOR=3;
void setup(){
  pinMode(MOTOR, OUTPUT);
  analogWrite(MOTOR, 0);
}
void loop(){
  analogWrite(MOTOR, 127);
}

```

En la figura B.3 se observa el circuito y el motor a  $1914rpm$ .

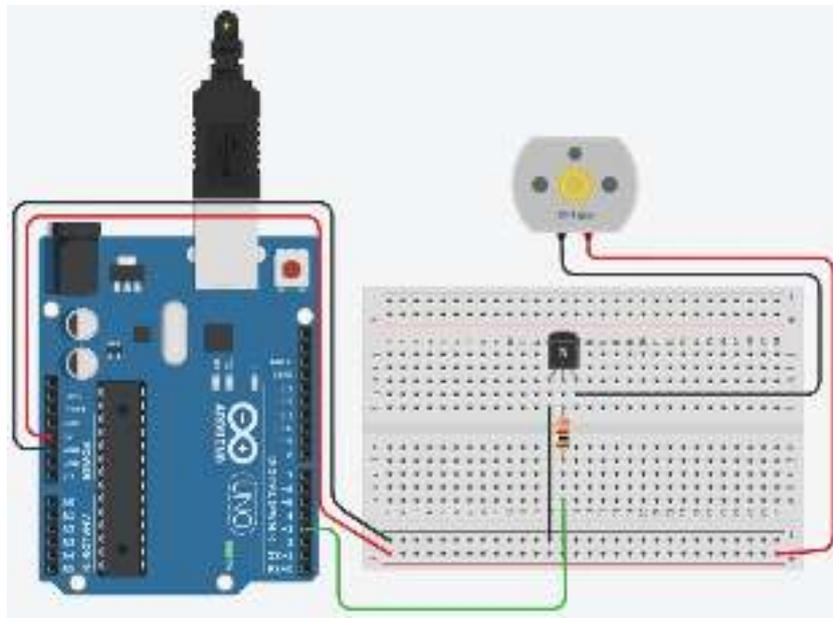


Figura B.3: *Motor en funcionamiento. RPM: 1914.*

#### Para el motor a máxima velocidad

```
int MOTOR=3;
void setup(){
  pinMode(MOTOR, OUTPUT);
  analogWrite(MOTOR, 0);
}
void loop(){
  analogWrite(MOTOR, 255);
}
```

En la figura B.4 se observa el circuito y el motor a *3739rpm*.

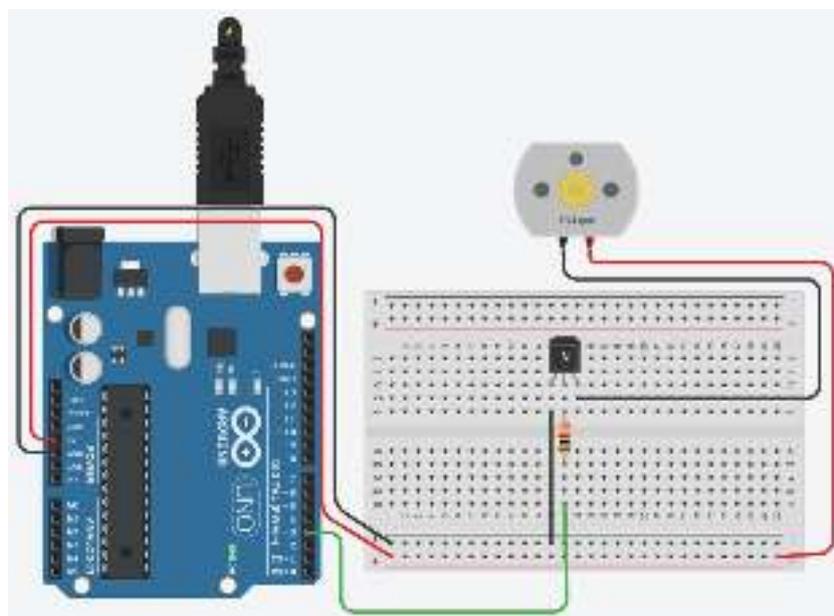


Figura B.4: *Motor a 3739 rpm.*

## B.2 Módulos externos para el control de motores

Como la placa Arduino esta limitada en su capacidad de enviar corriente y voltaje a través de sus salidas, es necesario utilizar placas adicionales, con alguna fuente externa de energía, que permitan la utilización de mayores corrientes y voltajes. a continuación se nombran algunas de estas placa con sus respectivas características.

### B.2.1 Módulo L293D

El L293D es un driver de 4 canales capaz de proporcionar una corriente de salida de hasta 600 mA por canal y puede soportar picos de hasta 1.2 A. Cada canal es controlado por señales TTL<sup>1</sup> y cada pareja de canales dispone de una señal de habilitación para conectar o desconecta las salidas de los mismos.

Tiene la disponibilidad de poder utilizar dos tensiones diferentes, una para el propio circuito integrado y otra para la alimentación del motor, cosa que nos facilita, al poder tomar la alimentación del Circuito Integrado (C.I.) del pin +5 v de Arduino y utilizar una batería auxiliar para la alimentación del motor o motores. [12]

#### Características del Módulo L293D

- Circuito Integrado principal: L293D
- Corriente pico de operación: 1,2 Amperios
- Corriente constante de operación: 0,6 Amperios
- Bajo voltaje de saturación en los transistores de salida
- Corte de operación por sobrecalentamiento
- Voltaje de alimentación de motores de hasta 36 [V]
- Buena inmunidad al ruido

---

<sup>1</sup>TTL es la sigla en inglés de *transistor-transistor logic*, es decir, lógica transistor a transistor. Es una tecnología de construcción de circuitos electrónicos digitales. Los elementos de entrada y salida del dispositivo son transistores bipolares.

En la figura B.5 se observa la placa tal como se consigue comercialmente.



Figura B.5: *Driver con integrado L293D.*

## B.2.2 Módulo L298N

El módulo L298N es un driver para el control de motores de corriente directa, motores a pasos, solenoides y en general cualquier otra carga inductiva. La tarjeta esta construida en torno al circuito integrado L298N, el cual dispone en su interior de 2 puentes H independientes con capacidad de conducir 2 amperios constantes o 4 amperios en picos no repetitivos. La tarjeta expone las conexiones hacia el motor a través de bloques de terminales (clemas), mientras que las entradas de control y habilitación del puente H se exponen a través de headers macho estándar para facilitar todas las conexiones. [13]

### Características del Módulo L298N

- Circuito Integrado principal: L298N
- Corriente pico de operación: 4 Amperios
- Corriente constante de operación: 2 Amperios

- Bajo voltaje de saturación en los transistores de salida
- Corte de operación por sobrecalentamiento
- Voltaje de alimentación de motores de hasta 46 [V]
- Excelente inmunidad al ruido

En la figura B.6 se observa la placa tal como se consigue comercialmente.



Figura B.6: *Driver con integrado L298N.*

### B.2.3 Monster Moto Shield

#### Descripción [14]

El Monster Motor Shield es el siguiente paso de las otras controladoras de motores para arduino basadas en el L293D o el L298N. Con este accesorio se puede controlar un par de motores de corriente continua que requieran hasta 15 Amperes, sin mayores complicaciones. Este shield es ideal para proyectos que requieren motores potentes.

El circuito integrado VN12SP30 que se encuentra como centro del diseño de este shield esta diseñado para aplicaciones automotrices, por lo que es un

circuito bastante confiable para el manejo de motores en ambientes difíciles. Cuando se usa el Monster Motor Shield en aplicaciones de alta demanda de corriente puede ser necesario mejorar el desempeño térmico de los circuitos VNH2SP30, agregando un ventilador o un disipador de calor, de igual forma es recomendable soldar los cables de manera directa para minimizar la resistencia eléctrica.

Cuando se usa esta tarjeta en conjunto con motores de 6A o menos, no es necesario usar algún medio para evacuar el calor de los circuitos integrados, ya que estos a penas se calientan.

### Características [14]

- Basada en el circuito integrado VNH2SP30
- Voltaje máximo: 16 [V]
- Capacidad máxima de corriente: 30 [A]
- Capacidad continua de corriente: 14 [A]
- Sensado de corriente a través de un pin analógico de arduino
- Resistencia en encendido de mosfet: 19 [mΩ]
- Frecuencia de PWM máxima 20 [Khz]
- Apagado térmico automático
- Apagado por alto y bajo voltaje
- Espacio disponible en el PCB para colocar terminales o soldar cables directamente

En la figura B.7 se puede observar la placa como se consigue comercialmente, y en la tabla B.1 se muestra el pinout para su programación.



Figura B.7: *Placa Monster Moto Shield.*

Pin	Descripción
3,3 v	3,3 v
5 v	5 v
GND	GND
A0	Enable for motor 1
A1	Enable for motor 2
A2	Current sensor for motor 1
A3	Current sensor for motor 1
D7	Clockwise for motor 1
D8	Counterclockwise for motor 1
D4	Clockwise for motor 2
D9	Counterclockwise for motor 2
D5	PWM for motor 1
D6	PWM for motor 2

Tabla B.1: *Pin Out de la placa Monster Moto Shield.*

## B.3 Sensores

### B.3.1 Módulo GPS6M

Este módulo GPS se basa en el u-blox NEO-6M, posee antena y EEPROM integradas, presenta una gran precisión y su uso es muy simple. La comunicación del módulo se realiza por medio de un puerto serial, posee 4 pines, VCC, RX, TX y GND.

Debido a su tamaño reducido y por poseer una antena integrada, el módulo se aplica perfectamente en aplicaciones sencillas y proyectos variados.

En la figura B.8 se puede observar este módulo tal y como se lo encuentra comercialmente, y a continuación se detallan las características del módulo.

- Comunicación serial
- Voltaje de alimentación: 3,5–5[V]
- Antena cerámica activa incluida
- LED indicador de señal
- Tamaño de antena:  $22 \times 22$ [mm]
- Tamaño de modulo:  $23 \times 30$ [mm]
- Batería incluida
- BAUDRATE: 9600
- EEPROM para guardar configuración de parámetros
- Sistema de coordenadas: WGS-84
- Sensibilidad de captura:  $-148$ [dBm]
- Sensibilidad de rastreo:  $-161$ [dBm]
- Máxima altura medible: 18000
- Máxima velocidad  $515$ [m/s]
- Exactitud: 1micro segundo
- Frecuencia receptora: L1 (1575.42[Mhz])
- Código C/A 1,023[Mhz]

- Tiempo de inicio : 35[s] en promedio



Figura B.8: *Módulo GPS6M.*

## B.4 Otros componentes

### B.4.1 LCD shield con botonera

Este pequeño Shield consta de un LCD más 5 botones, que se pueden utilizar muy fácilmente. Si se utiliza este shield sobre un Arduino UNO, este se queda bastante pines para sí mismo para la gestión del LCD, pero sigue dejando libres los pines digitales del 0 al 7, y las puertas analógicas del A1 al A5, más el ICSP en caso de que se necesite. En nuestro caso no los utilizaremos ya que se conectará mediante cables. En la figura B.9 se puede observar la pantalla con la ubicación de los pines.

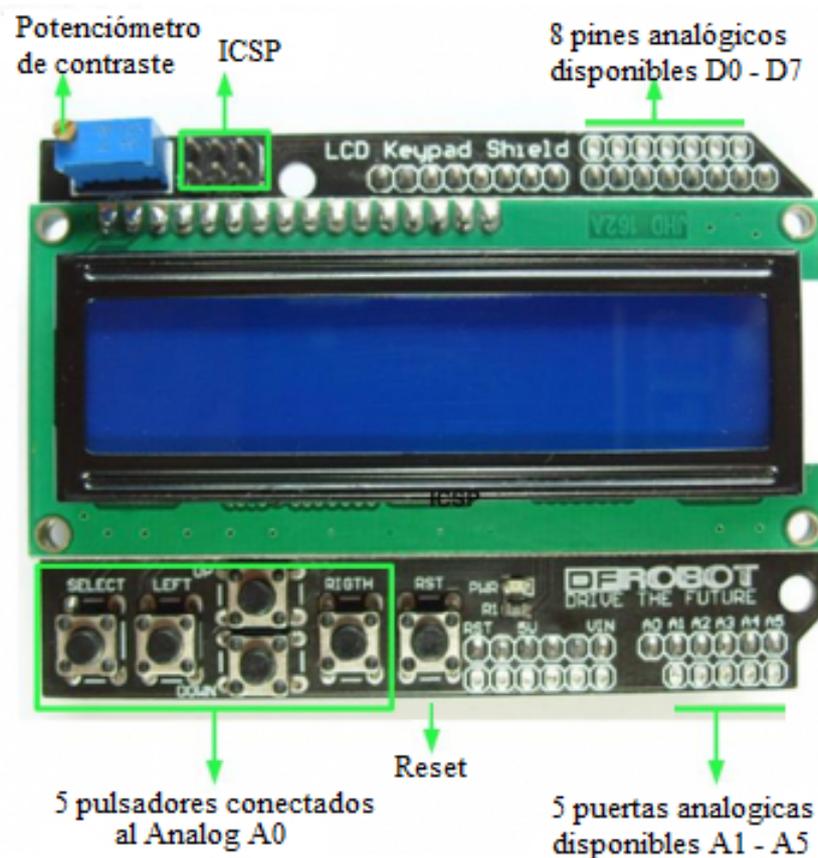


Figura B.9: Pantalla LCD con botonera.

En la tabla se puede observar el pin out de este shield para lograr la correcta conexión.

Para no tener que usar 5 pines digitales para reconocer los 5 botones, estos están conectados en serie con resistencias a un único puerto analógico de modo que se reconoce el botón pulsado mediante el valor de tensión que lee A0.

<b>Pin</b>	<b>Function</b>
Analog 0	Button
Digital 4	DB4
Digital 5	DB5
Digital 6	DB6
Digital 7	DB7
Digital 8	RS (Data or Signal Display Selection)
Digital 9	Enable
Digital 10	Backlit Control

Tabla B.2: *Pin Out de la placa Monster Moto Shield.*

## B.5 Conexión del sistema de control

En la tabla B.3 se detalla la conexión de los pines entre los distintos elementos del sistema de control.

Mega	LCD	Nano	Relays	Sensores	GPS
Dpin 24	DB4				
Dpin 26	DB5				
Dpin 28	DB6				
Dpin 30	DB7				
Dpin 32	DB8				
Apin 01	Apin 00				
Apin 08				Signal	
Apin 09				Signal	
Apin 14		Apin 01			
Apin 15		Apin 02			
Dpin 23			Signal		
Dpin 25			Signal		
Dpin 51					Tx
Dpin 53					Rx
<b>Nano</b>	<b>G213V 01</b>	<b>G213V 02</b>			
Dpin 04	STEP				
Dpin 05	DIR				
Dpin 06		STEP			
Dpin 07		DIR			

Tabla B.3: *Conexión de pines.*

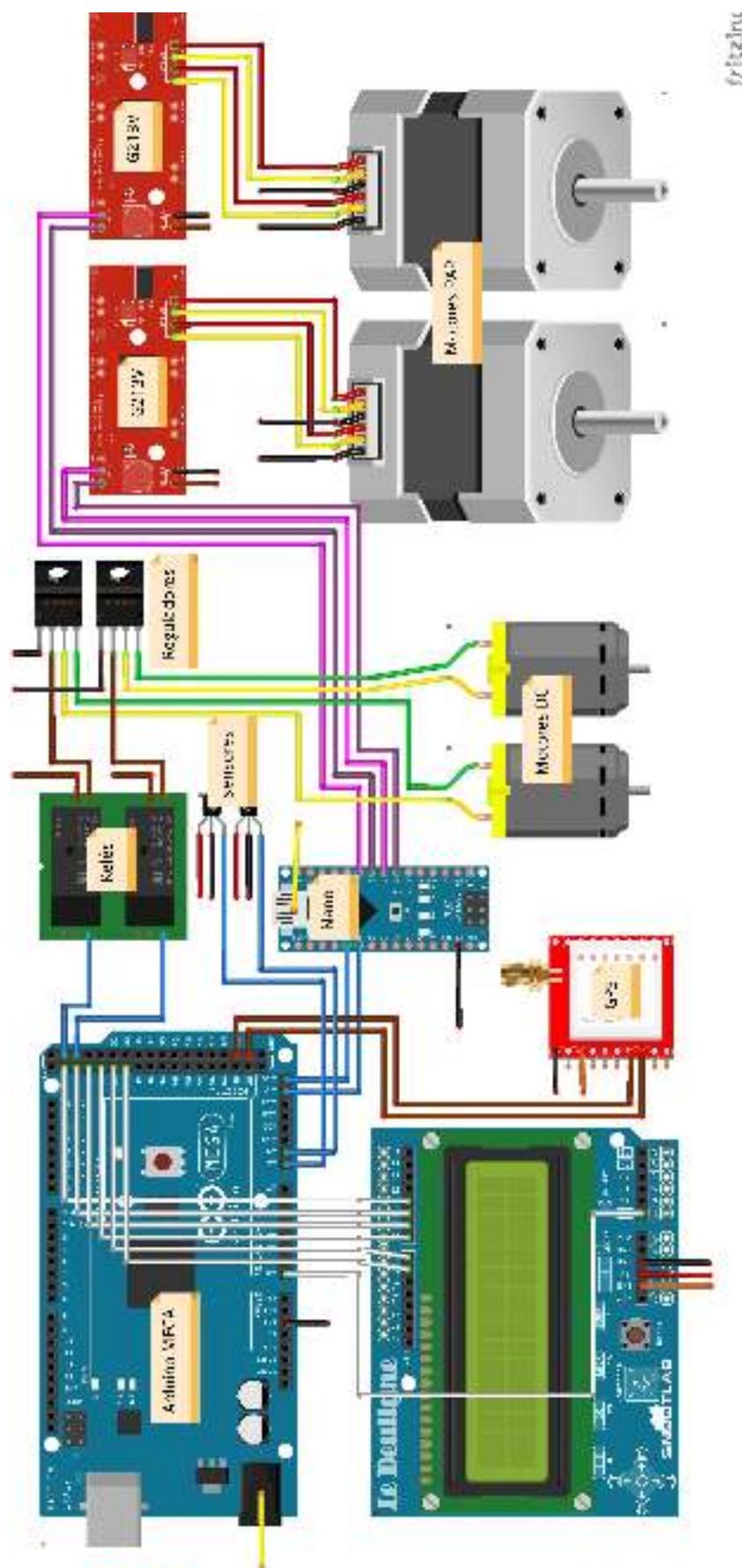


Figura B.10: Esquema de conexión del sistema de control.

### B.5.1 Código de placas controladoras

El siguiente código de programación es el que se deberá utilizar en el Arduino Mega para hacer funcionar este sistema de control:

```
//Librerias necesarias
#include <LiquidCrystal.h>//Libreria para la pantalla LCD
#include <SoftwareSerial.h>//Libreria para comunicar con GPS
#include <TinyGPS.h>//Libreria para el GPS
#include <Wire.h>//Libreria para comunicar por I2C
//Declaracion de objetos
LiquidCrystal LCD(30, 32, 22, 24, 26, 28);
TinyGPS GPS;
SoftwareSerial serialgps(53,51);
//Definicion motores sistema distribucion
#define MOTOR_1 23
#define MOTOR_2 25
//Definicion de botonera
#define btnDERECHA 0
#define btnARRIBA 1
#define btnABAJO 2
#define btnIZQUIERDA 3
#define btnSELECCIONAR 4
#define btnNADA 5
//Definicion de sensores
#define sensorBajoIzq 41
#define sensorAltoIzq 43
#define sensorBajoDer 45
#define sensorAltoDer 47
//Declaracion de variables para la obtención de datos por GPS
int year;
byte month, day, hour, minute, second, hundredths;
unsigned long chars;
unsigned short sentences, failed_checksum;
//Declaracion de variables para la botonera
int lcd_key = 0;
int adc_key_in = 0;
//Declaracion de variables para comunicacion entre arduinos
byte brpmIzq,brpmDer = 0;
int motorIzq = 1;
int motorDer = 2;
```

```
//Declaracion de otras variables
boolean varmenu = false;
int brazos = 0;
boolean llenadocompleto = false;
int modofert = 0;
int auxI, auxD = 1;
int indos[3] = {0,0,0};
int ingra[3] = {0,0,0};
int VA = 0;
int DosIzq, DosDer, CanIzq, CanDer,RPMIzq, RPMDer = 0;
int RPMIzqanterior, RPMDeranterior = 99;

void setup()
{
  //Indica como salida a los siguientes pines
  pinMode(sensorBajoIzq, INPUT);
  pinMode(sensorAltoIzq, INPUT);
  pinMode(sensorBajoDer, INPUT);
  pinMode(sensorAltoDer, INPUT);
  //Inicia los MOTORES del sinfin parados
  digitalWrite(MOTOR_1, LOW);
  digitalWrite(MOTOR_2, LOW);
  //Inicia la pantalla LCD
  LCD.begin(16, 2); //Inicia el LCD 16x2
  LCD.clear();
  LCD.setCursor(0,0);
  LCD.print("TESIS 2019");
  LCD.setCursor(0,1);
  LCD.print("FERTILIZADORA");
  delay(2000);
  //Inicia la transmision de datos
  Serial.begin(9600);
  serialgps.begin(9600); //Iniciamos el puerto serie del gps
  Wire.begin(); //Inicia comunicacion por I2C
  LCD.clear();
  LCD.setCursor(0,0);
  LCD.print("CONECTANDO GPS");
  LCD.setCursor(0,1);
  LCD.print("BUSCANDO SENAL");
  delay(2000);
  LCD.clear();
}
```

```

}

void loop()
{
  if (varmenu == false) MENUPRINCIPAL();
  VERIFICAPRECAMARA();
  CALCULARPM();
  if (VA<5)
  {
    ENVIARPM();
  } else
  {
    PARARMOTORES();
  }
}

void MENUPRINCIPAL()
{
  int selec = 1;
  int valor = 0;
  boolean salir = false;
  LCD.setCursor(0,0);
  LCD.print("CARGANDO");
  LCD.setCursor(0,1);
  LCD.print("MENU PRINCIPAL");
  delay(2000);
  LCD.clear();
  while (salir == false)
  {
    lcd_key = read_LCD_buttons();
    delay(400);
    if( lcd_key == btnDERECHA)
    delay(1);
    else if (lcd_key == btnIZQUIERDA)
    delay(1);
    else if (lcd_key == btnARRIBA)
    selec--;
    else if (lcd_key == btnABAJO)
    selec++;
    else if (lcd_key == btnSELECCIONAR)
    {

```

```
if (selec == 1)
{
  ROTACIONSINFIN();
  valor = 0;
}
if (selec == 2)
{
  ROTACIONRODILLO();
  valor = 0;
}
if (selec == 3)
{
  LLENARPRECAMARAS();
  valor = 0;
}
if (selec == 4)
{
  CALIBRACION();
  valor = 0;
}
if (selec == 5)
{
  BRAZOSENUÑO();
  valor = 0;
}
if (selec == 6)
{
  MODOFERTILIZACION();
  valor = 0;
}
if (selec == 7)
{
  INGRESARDOSIS();
  valor = 0;
}
if (selec == 8)
{
  INGRESARPARAMETROX();
  valor = 0;
}
if (selec == 9) salir=true;
```

```
    delay(500);
  }
  else if (lcd_key == btnNADA)
  delay(1);
  if (selec == 0) selec = 9;
  if (selec == 10) selec = 1;
  if (valor != selec)
  {
  LCD.clear();
  if (selec == 1)
  {
  LCD.clear();
  LCD.setCursor(0,0);
  LCD.print("ROTRACION MANUAL");
  LCD.setCursor(0,1);
  LCD.print("DISTRIBUCION");
  }
  if (selec == 2)
  {
  LCD.clear();
  LCD.setCursor(0,0);
  LCD.print("ROTACION MANUAL");
  LCD.setCursor(0,1);
  LCD.print("DOSIFICACION");
  }
  if (selec == 3)
  {
  LCD.clear();
  LCD.setCursor(0,0);
  LCD.print("LLENADO DE LAS");
  LCD.setCursor(0,1);
  LCD.print("PRECAMARAS");
  }
  if (selec == 4)
  {
  LCD.clear();
  LCD.setCursor(0,0);
  LCD.print("CALIBRACION");
  LCD.setCursor(0,1);
  LCD.print("DOSIFICACION");
  }
  }
```

```
if (selec == 5)
{
  LCD.clear();
  LCD.setCursor(0,0);
  LCD.print("USO TOTAL");
  LCD.setCursor(0,1);
  LCD.print("O PARCIAL");
}
if (selec == 6)
{
  LCD.clear();
  LCD.setCursor(0,0);
  LCD.print("FERTILIZACION");
  LCD.setCursor(0,1);
  LCD.print("SIMPLE / MIXTA");
}
if (selec == 7)
{
  LCD.clear();
  LCD.setCursor(0,0);
  LCD.print("DOSIFICACION");
  LCD.setCursor(0,1);
  LCD.print("POR HECTAREA");
}
if (selec == 8)
{
  LCD.clear();
  LCD.setCursor(0,0);
  LCD.print("INGRESAR");
  LCD.setCursor(0,1);
  LCD.print("PARAMETRO X");
}
if (selec == 9)
{
  LCD.clear();
  LCD.setCursor(0,0);
  LCD.print("COMENZAR A");
  LCD.setCursor(0,1);
  LCD.print("FERTILIZAR");
}
valor = selec;
```

```
    }  
  }  
  LCD.clear();  
  LCD.print("DATOS GUARDADOS");  
  delay(2000);  
  LCD.clear();  
  LCD.print("LISTO PARA USAR");  
}  
void ROTACIONSinFIN()  
{  
  int selec = 1;  
  int valor = 0;  
  boolean salir = false;  
  LCD.clear();  
  LCD.setCursor(0,0);  
  LCD.print("SELECCIONAR LADO");  
  LCD.setCursor(0,1);  
  LCD.print("A ROTAR");  
  delay(2000);  
  LCD.clear();  
  while (salir == false)  
  {  
    lcd_key = read_LCD_buttons();  
    delay(400);  
    if(lcd_key == btnDERECHA)  
      delay(1);  
    else if (lcd_key == btnIZQUIERDA)  
      delay(1);  
    else if (lcd_key == btnARRIBA)  
      selec-;  
    else if (lcd_key == btnABAJO)  
      selec++;  
    else if (lcd_key == btnSELECCIONAR)  
    {  
      if (selec == 1)  
      {  
        while (lcd_key == btnSELECCIONAR)  
        {  
          lcd_key = read_LCD_buttons();  
          digitalWrite(MOTOR_1, HIGH);  
        }  
      }  
    }  
  }  
}
```

```
    digitalWrite(MOTOR_1, LOW);
    selec = 5;
    valor = 0;
}
if (selec == 2)
{
    while (lcd_key == btnSELECCIONAR)
    {
        lcd_key = read_LCD_buttons();
        digitalWrite(MOTOR_2, HIGH);
    }
    digitalWrite(MOTOR_2, LOW);
    selec = 5;
    valor = 0;
}
if (selec == 3)
{
    while (lcd_key == btnSELECCIONAR)
    {
        lcd_key = read_LCD_buttons();
        digitalWrite(MOTOR_1, HIGH);
        digitalWrite(MOTOR_2, HIGH);
    }
    digitalWrite(MOTOR_1, LOW);
    digitalWrite(MOTOR_2, LOW);
    selec = 5;
    valor = 0;
}
if (selec == 4)
{
    salir = true;
}
}
else if (lcd_key == btnNADA)
delay(1);
if (selec == 0) selec = 4;
if (selec == 5) selec = 1;
if (valor != selec)
{
    if (selec == 1)
    {
```

```

        LCD.clear();
        LCD.setCursor(0,0);
        LCD.print("ROTACION");
        LCD.setCursor(0,1);
        LCD.print("BRAZO IZQUIERDO");
    }
    if (selec == 2)
    {
        LCD.clear();
        LCD.setCursor(0,0);
        LCD.print("ROTACION");
        LCD.setCursor(0,1);
        LCD.print("BRAZO DERECHO");
    }
    if (selec == 3)
    {
        LCD.clear();
        LCD.setCursor(0,0);
        LCD.print("ROTACION");
        LCD.setCursor(0,1);
        LCD.print("AMBOS BRAZOS");
    }
    if (selec == 4)
    {
        LCD.clear();
        LCD.setCursor(0,0);
        LCD.print("VOLVER AL");
        LCD.setCursor(0,1);
        LCD.print("MENU PRINCIPAL");
    }
}
}
}
void ROTACIONRODILLO()
{
    int selec = 1;
    int valor = 0;
    boolean salir = false;
    LCD.clear();
    LCD.setCursor(0,0);
    LCD.print("SELECCIONAR LADO");

```

```
LCD.setCursor(0,1);
LCD.print(" A ROTAR");
delay(2000);
LCD.clear();
while (salir == false)
{
  lcd_key = read_LCD_buttons();
  delay(400);
  if (lcd_key == btnDERECHA)
  delay(1);
  else if (lcd_key == btnIZQUIERDA)
  delay(1);
  else if (lcd_key == btnARRIBA)
  selec--;
  else if (lcd_key == btnABAJO)
  selec++;
  else if (lcd_key == btnSELECCIONAR)
  {
    if (selec == 1)
    {
      Wire.beginTransmission(1);
      Wire.write(1);
      Wire.write(1);
      Wire.endTransmission();
      selec = 5;
      valor = 0;
    }
    if (selec == 2)
    {
      Wire.beginTransmission(1);
      Wire.write(2);
      Wire.write(1);
      Wire.endTransmission();
      selec = 5;
      valor = 0;
    }
    if (selec == 3)
    {
      Wire.beginTransmission(1);
      Wire.write(1);
      Wire.write(1);
    }
  }
}
```

```
Wire.endTransmission();
Wire.beginTransmission(1);
Wire.write(2);
Wire.write(1);
Wire.endTransmission();
selec = 5;
valor = 0;
}
if (selec == 4)
{
  salir = true;
  Wire.beginTransmission(1);
  Wire.write(3);
  Wire.write(3);
  Wire.endTransmission();
}
}
else if (lcd_key == btnNADA)
delay(1);
if (selec == 0) selec = 4;
if (selec == 5) selec = 1;
if (valor != selec)
{
  if (selec == 1)
  {
    LCD.clear();
    LCD.setCursor(0,0);
    LCD.print("ROTACION");
    LCD.setCursor(0,1);
    LCD.print("BRAZO IZQUIERDO");
  }
  if (selec == 2)
  {
    LCD.clear();
    LCD.setCursor(0,0);
    LCD.print("ROTACION");
    LCD.setCursor(0,1);
    LCD.print("BRAZO DERECHO");
  }
  if (selec == 3)
  {
```

```

        LCD.clear();
        LCD.setCursor(0,0);
        LCD.print("ROTACION");
        LCD.setCursor(0,1);
        LCD.print("AMBOS BRAZOS");
    }
    if (selec == 4)
    {
        LCD.clear();
        LCD.setCursor(0,0);
        LCD.print("VOLVER AL");
        LCD.setCursor(0,1);
        LCD.print("MENU PRINCIPAL");
    }
}
}
}
}
void LLENARPRECAMARAS()
{
    int selec = 1;
    int valor = 0;
    boolean salir = false;
    LCD.clear();
    LCD.setCursor(0,0);
    LCD.print("LLENAR TOLVA");
    LCD.setCursor(0,1);
    LCD.print("CON FERTILIZANTE");
    delay(2000);
    LCD.clear();
    while (salir == false)
    {
        lcd_key = read_LCD_buttons();
        delay(400);
        if (lcd_key == btnDERECHA)
            delay(1);
        else if (lcd_key == btnIZQUIERDA)
            delay(1);
        else if (lcd_key == btnARRIBA)
            selec--;
        else if (lcd_key == btnABAJO)
            selec++;
    }
}

```

```
else if (lcd_key == btnSELECCIONAR)
{
  if (selec == 1)
  {
    PROCEDIMIENTOLLENADO(selec);
    LCD.clear();
    LCD.setCursor(0,0);
    LCD.print("PRECAMARA IZQ");
    LCD.setCursor(0,1);
    LCD.print("COMPLETA");
    delay(2000);
    llenadocompleto = true;
    selec = 4;
    valor = 0;
  }
  if (selec == 2)
  {
    PROCEDIMIENTOLLENADO(selec);
    LCD.clear();
    LCD.setCursor(0,0);
    LCD.print("PRECAMARA DER");
    LCD.setCursor(0,1);
    LCD.print("COMPLETA");
    delay(2000);
    llenadocompleto = true;
    selec = 4;
    valor = 0;
  }
  if (selec == 3)
  {
    salir = true;
  }
}
else if (lcd_key == btnNADA)
delay(1);
if (selec == 0) selec = 3;
if (selec == 4) selec = 1;
if (valor != selec)
{
  if (selec == 1)
  {
```



```
if (lcd_key == btnDERECHA)
  delay(1);
else if (lcd_key == btnIZQUIERDA)
  delay(1);
else if (lcd_key == btnARRIBA)
  selec--;
else if (lcd_key == btnABAJO)
  selec++;
else if (lcd_key == btnSELECCIONAR)
{
  if (selec == 1)
  {
    LCD.clear();
    LCD.setCursor(0,0);
    LCD.print("COMIENZA EL");
    LCD.setCursor(0,1);
    LCD.print("ENSAYO IZQ");
    delay(2000);
    REALIZARENSAYO(selec);
    selec = 4;
    valor = 0;
  }
  if (selec == 2)
  {
    LCD.clear();
    LCD.setCursor(0,0);
    LCD.print("COMIENZA");
    LCD.setCursor(0,1);
    LCD.print("ENSAYO DER");
    delay(2000);
    REALIZARENSAYO(selec);
    selec = 4;
    valor = 0;
  }
  if (selec == 3)
  {
    Wire.beginTransmission(1);
    Wire.write(3);
    Wire.endTransmission();
    salir = true;
  }
}
```

```
    }
    else if (lcd_key == btnNADA)
    delay(1);
    if (selec == 0) selec = 3;
    if (selec == 4) selec = 1;
    if (llenadocompleto == false)
    {
        LCD.clear();
        LCD.setCursor(0,0);
        LCD.print(" REALIZAR LLENADO");
        LCD.setCursor(0,1);
        LCD.print(" DE PRECAMARAS");
        delay(2000);
        valor = selec;
        salir = true;
    }
    if (valor != selec)
    {
        if (selec == 1)
        {
            LCD.clear();
            LCD.setCursor(0,0);
            LCD.print(" CALIBRACION");
            LCD.setCursor(0,1);
            LCD.print(" BRAZO IZQUIERDO");
        }
        if (selec == 2)
        {
            LCD.clear();
            LCD.setCursor(0,0);
            LCD.print(" CALIBRACION");
            LCD.setCursor(0,1);
            LCD.print(" BRAZO DERECHO");
        }
        if (selec == 3)
        {
            LCD.clear();
            LCD.setCursor(0,0);
            LCD.print(" FINALIZAR");
            LCD.setCursor(0,1);
            LCD.print(" CALIBRACION");
        }
    }
}
```

```
    }
  }
}
LCD.clear();
LCD.setCursor(0,0);
LCD.print("CALIBRACION");
LCD.setCursor(0,1);
LCD.print("FINALIZADA");
delay(2000);
}
void BRAZOSENUSO()
{
  int selec = 1;
  int valor = 0;
  boolean salir = false;
  LCD.clear();
  LCD.setCursor(0,0);
  LCD.print("SELECCIONAR");
  LCD.setCursor(0,1);
  LCD.print("BRAZOS A USAR");
  delay(2000);
  LCD.clear();
  while (salir == false)
  {
    lcd_key = read_LCD_buttons();
    delay(400);
    if( lcd_key == btnDERECHA)
    delay(1);
    else if ( lcd_key == btnIZQUIERDA)
    delay(1);
    else if ( lcd_key == btnARRIBA)
    selec--;
    else if ( lcd_key == btnABAJO)
    selec++;
    else if ( lcd_key == btnSELECCIONAR)
    {
      if (selec == 1)
      {
        brazos=1; //1 es para usar ambos brazos
        LCD.clear();
        LCD.setCursor(0,0);
```

```
LCD.print("AMBOS BRAZOS");
LCD.setCursor(0,1);
LCD.print("SELECCIONADO");
delay(2000);
}
if (selec == 2)
{
  brazos=2; //2 es para usar solo el brazo izquierdo
  LCD.clear();
  LCD.setCursor(0,0);
  LCD.print("BRAZO IZQUIERDO");
  LCD.setCursor(0,1);
  LCD.print("SELECCIONADO");
  delay(2000);
}
if (selec == 3)
{
  brazos=3; //3 es para usar solo el brazo derecho
  LCD.clear();
  LCD.setCursor(0,0);
  LCD.print("BRAZO DERECHO");
  LCD.setCursor(0,1);
  LCD.print("SELECCIONADO");
  delay(2000);
}
delay(500);
salir = true;
}
else if ( lcd_key == btnNADA)
delay(1);
if (selec == 0) selec = 3;
if (selec == 4) selec = 1;
if (valor != selec)
{
  if (selec == 1)
  {
    LCD.clear();
    LCD.setCursor(0,0);
    LCD.print("UTILIZAR");
    LCD.setCursor(0,1);
    LCD.print("AMBOS BRAZOS");
```

```
    }
    if (selec == 2)
    {
        LCD.clear();
        LCD.setCursor(0,0);
        LCD.print("UTILIZAR SOLO");
        LCD.setCursor(0,1);
        LCD.print("BRAZO IZQUIERDO");
    }
    if (selec == 3)
    {
        LCD.clear();
        LCD.setCursor(0,0);
        LCD.print("UTILIZAR SOLO");
        LCD.setCursor(0,1);
        LCD.print("BRAZO DERECHO");
    }
}
}
}
}
void MODOFERTILIZACION()
{
    int selec = 1;
    int valor = 0;
    boolean salir = false;
    LCD.clear();
    LCD.setCursor(0,0);
    LCD.print("SELECCIONAR");
    LCD.setCursor(0,1);
    LCD.print("MODO DE FERTIL");
    delay(2000);
    LCD.clear();
    while (salir == false)
    {
        lcd_key = read_LCD_buttons();
        delay(400);
        if( lcd_key == btnDERECHA)
            delay(1);
        else if ( lcd_key == btnIZQUIERDA)
            delay(1);
        else if ( lcd_key == btnARRIBA)
```

```
selec-;
else if ( lcd_key == btnABAJO)
selec++;
else if ( lcd_key == btnSELECCIONAR)
{
  if (selec == 1)
  {
    LCD.clear();
    LCD.setCursor(0,0);
    LCD.print("FERTILIZ SIMPLE");
    LCD.setCursor(0,1);
    LCD.print("SELECCIONADA");
    delay(2000);
    modofert = 1; //1 es para fertilizar en modo simple
    selec = 4;
    valor = 0;
  }
  if (selec == 2)
  {
    LCD.clear();
    LCD.setCursor(0,0);
    LCD.print("FERT MIXTA");
    LCD.setCursor(0,1);
    LCD.print("SELECCIONADA");
    delay(2000);
    modofert = 2; //2 es para fertilizar en modo mixto
    selec = 4;
    valor = 0;
  }
  if (selec == 3)
  {
    salir = true;
  }
}
else if ( lcd_key == btnNADA)
delay(1);
if (selec == 0) selec = 3;
if (selec == 4) selec = 1;
if (valor != selec)
{
  if (selec == 1)
```

```
    {
      LCD.clear();
      LCD.setCursor(0,0);
      LCD.print("FERTILIZACION");
      LCD.setCursor(0,1);
      LCD.print("SIMPLE");
    }
    if (selec == 2)
    {
      LCD.clear();
      LCD.setCursor(0,0);
      LCD.print("FERTILIZACION");
      LCD.setCursor(0,1);
      LCD.print("MIXTA");
    }
    if (selec == 3)
    {
      LCD.clear();
      LCD.setCursor(0,0);
      LCD.print("VOLVER AL");
      LCD.setCursor(0,1);
      LCD.print("MENU PRINCIPAL");
    }
  }
}
}
}
void INGRESARDOSIS()
{
  int selec = 1;
  int valor = 0;
  int pos = 1;
  boolean salir = false;
  LCD.clear();
  LCD.setCursor(0,0);
  LCD.print("INGRESAR");
  LCD.setCursor(0,1);
  LCD.print("DOSIS POR HA");
  delay(2000);
  LCD.clear();
  while (salir == false)
  {
```

```

lcd_key = read_LCD_buttons();
delay(400);
if( lcd_key == btnDERECHA)
delay(1);
else if ( lcd_key == btnIZQUIERDA)
delay(1);
else if ( lcd_key == btnARRIBA)
selec--;
else if ( lcd_key == btnABAJO)
selec++;
else if ( lcd_key == btnSELECCIONAR)
{
if (selec == 1)
{
LCD.clear();
LCD.setCursor(0,0);
LCD.print(" Dosificacion");
LCD.setCursor(4,1);
LCD.print(" kg/ha");
while (salir == false)
{
LCD.setCursor(0,1);
LCD.print(indos[0]);
LCD.setCursor(1,1);
LCD.print(indos[1]);
LCD.setCursor(2,1);
LCD.print(indos[2]);
lcd_key = read_LCD_buttons();
delay(400);
if( lcd_key == btnDERECHA)
pos++;
else if ( lcd_key == btnIZQUIERDA)
pos--;
else if ( lcd_key == btnARRIBA)
indos[pos]++;
else if ( lcd_key == btnABAJO)
indos[pos]--;
else if ( lcd_key == btnSELECCIONAR)
salir = true;
else if ( lcd_key == btnNADA)
delay(1);
}
}
}

```

```

    if (pos < 0) pos = 0;
    if (pos > 2) pos = 2;
    if (indos[0] < 0) indos[0] = 0;
    if (indos[1] < 0) indos[1] = 0;
    if (indos[2] < 0) indos[2] = 0;
    if (indos[0] > 9) indos[0] = 9;
    if (indos[1] > 9) indos[1] = 9;
    if (indos[2] > 9) indos[2] = 9;
  }
  DosIzq=(indos[0]*100+indos[1]*10+indos[2]);
  salir = false;
  LCD.clear();
  LCD.setCursor(0,0);
  LCD.print("DOSIS IZQUIERDA");
  LCD.setCursor(0,1);
  LCD.print("GUARDADA");
  delay(2000);
  selec = 4;
  valor = 0;
}
if (selec == 2)
{
  LCD.clear();
  LCD.setCursor(0,0);
  LCD.print("Dosificacion");
  LCD.setCursor(4,1);
  LCD.print("kg/ha");
  while (salir == false)
  {
    LCD.setCursor(0,1);
    LCD.print(indos[0]);
    LCD.setCursor(1,1);
    LCD.print(indos[1]);
    LCD.setCursor(2,1);
    LCD.print(indos[2]);
    lcd_key = read_LCD_buttons();
    delay(400);
    if( lcd_key == btnDERECHA)
      pos++;
    else if ( lcd_key == btnIZQUIERDA)
      pos--;
  }
}

```

```

    else if ( lcd_key == btnARRIBA)
    indos[pos]++;
    else if ( lcd_key == btnABAJO)
    indos[pos]-;
    else if ( lcd_key == btnSELECCIONAR)
    salir = true;
    else if ( lcd_key == btnNADA)
    delay(1);
    if (pos < 0) pos = 0;
    if (pos > 2) pos = 2;
    if (indos[0] < 0) indos[0] = 0;
    if (indos[1] < 0) indos[1] = 0;
    if (indos[2] < 0) indos[2] = 0;
    if (indos[0] > 9) indos[0] = 9;
    if (indos[1] > 9) indos[1] = 9;
    if (indos[2] > 9) indos[2] = 9;
    }
    DosDer=(indos[0]*100+indos[1]*10+indos[2]);
    salir = false;
    LCD.clear();
    LCD.setCursor(0,0);
    LCD.print("DOSIS DERECHA");
    LCD.setCursor(0,1);
    LCD.print("GUARDADA");
    delay(2000);
    selec = 4;
    valor = 0;
    }
    if (selec == 3)
    {
        salir = true;
    }
    }
    else if ( lcd_key == btnNADA)
    delay(1);
    if (selec == 0) selec = 2;
    if (selec == 3) selec = 1;
    if (valor != selec)
    {
        if (selec == 1)
        {

```

```

    LCD.clear();
    LCD.setCursor(0,0);
    LCD.print("INGRESAR DOSIS");
    LCD.setCursor(0,1);
    LCD.print("BRAZO IZQUIERDO");
    delay(2000);
}
if (selec == 2)
{
    LCD.clear();
    LCD.setCursor(0,0);
    LCD.print("INGRESAR DOSIS");
    LCD.setCursor(0,1);
    LCD.print("BRAZO IZQUIERDO");
    delay(2000);
}
if (selec == 3)
{
    LCD.clear();
    LCD.setCursor(0,0);
    LCD.print("VOLVER AL");
    LCD.setCursor(0,1);
    LCD.print("MENU PRINCIPAL");
    delay(2000);
}
}
}
}
void ENVIARPM()
{
    if (RPMIzq != RPMIzqanterior)
    {
        Wire.beginTransmission(1);
        Wire.write(motorIzq);
        Wire.write(brpmIzq);
        Wire.endTransmission();
        RPMIzqanterior = RPMIzq;
    }
    if (RPMDer != RPMDeranterior)
    {
        Wire.beginTransmission(1);

```

```

    Wire.write(motorDer);
    Wire.write(brpmDer);
    Wire.endTransmission();
    RPMDeranterior = RPMDer;
  }
}
void PARARMOTORES()
{
  Wire.beginTransmission(1);
  Wire.write(motorDer);
  Wire.write(0);
  Wire.endTransmission();
  Wire.beginTransmission(1);
  Wire.write(motorIzq);
  Wire.write(0);
  Wire.endTransmission();
}
void CALCULARPM()
{
  leergps();
  RPMIzq=(125/4)*(DosIzq*VA/CanIzq);
  brpmIzq=RPMIzq;
  RPMDer=(125/4)*(DosDer*VA/CanDer);
  brpmDer=RPMDer;
}
void VERIFICAPRECAMARA()
{
  if (digitalRead(sensorBajoIzq) == LOW) auxI = 2;
  if (digitalRead(sensorBajoDer) == LOW) auxD = 2;
  if (auxI == 2)
  {
    if (digitalRead(sensorAltoIzq) == LOW)
      digitalWrite(MOTOR_1, HIGH);
    if (digitalRead(sensorAltoIzq) == HIGH)
    {
      digitalWrite(MOTOR_1, LOW);
      auxI = 1;
    }
  }
}
if (auxD == 2)
{

```

```
    if (digitalRead(sensorAltoDer) == LOW)
        digitalWrite(MOTOR_2, HIGH);
    if (digitalRead(sensorAltoDer) == HIGH)
    {
        digitalWrite(MOTOR_2, LOW);
        auxD = 1;
    }
}
}
void PROCEDIMIENTOLLENADO(int lado)
{
    if (lado == 1)
    {
        while (digitalRead(sensorAltoIzq) == LOW)
            digitalWrite(MOTOR_1, HIGH);
    }
    if (lado == 2)
    {
        while (digitalRead(sensorAltoDer) == LOW)
            digitalWrite(MOTOR_2, HIGH);
    }
}
void REALIZARENSAYO(int lado)
{
    if (lado == 1)
    {
        Wire.beginTransmission(1);
        Wire.write(1);
        Wire.endTransmission();
    }
    if (lado == 2)
    {
        Wire.beginTransmission(1);
        Wire.write(2);
        Wire.endTransmission();
    }
}
void INGRESARPARAMETROX()
{
    int pos = 1;
    int selec = 1;
```

```
int valor = 0;
boolean salir = false;
LCD.clear();
LCD.setCursor(0,0);
LCD.print("INGRESAR");
LCD.setCursor(0,1);
LCD.print("PARAMETRO X");
delay(2000);
LCD.clear();
while (salir == false)
{
  lcd_key = read_LCD_buttons();
  delay(400);
  if( lcd_key == btnDERECHA)
  delay(1);
  else if ( lcd_key == btnIZQUIERDA)
  delay(1);
  else if ( lcd_key == btnARRIBA)
  selec--;
  else if ( lcd_key == btnABAJO)
  selec++;
  else if ( lcd_key == btnSELECCIONAR)
  {
    if (selec == 1)
    {
      LCD.clear();
      LCD.setCursor(0,0);
      LCD.print("Valor ensayo");
      LCD.setCursor(4,1);
      LCD.print("g/(10 rev)");
      while (salir == false)
      {
        LCD.setCursor(0,1);
        LCD.print(ingra[0]);
        LCD.setCursor(1,1);
        LCD.print(ingra[1]);
        LCD.setCursor(2,1);
        LCD.print(ingra[2]);
        lcd_key = read_LCD_buttons();
        delay(400);
        if( lcd_key == btnDERECHA)
```

```

    pos++;
    else if ( lcd_key == btnIZQUIERDA)
    pos--;
    else if ( lcd_key == btnARRIBA)
    ingra[pos]++;
    else if ( lcd_key == btnABAJO)
    ingra[pos]-;
    else if ( lcd_key == btnSELECCIONAR)
    salir = true;
    else if ( lcd_key == btnNADA)
    delay(1);
    if (pos < 0) pos = 0;
    if (pos > 2) pos = 2;
    if (ingra[0] < 0) ingra[0] = 0;
    if (ingra[1] < 0) ingra[1] = 0;
    if (ingra[2] < 0) ingra[2] = 0;
    if (ingra[0] > 9) ingra[0] = 9;
    if (ingra[1] > 9) ingra[1] = 9;
    if (ingra[2] > 9) ingra[2] = 9;
    }
    CanIzq=(ingra[0]*100+ingra[1]*10+ingra[2]);
    LCD.clear();
    LCD.setCursor(0,0);
    LCD.print("PARAMETRO X IZQ");
    LCD.setCursor(0,1);
    LCD.print("GUARDADO");
    delay(2000);
    selec = 4;
    valor = 0;
    }
    if (selec == 2)
    {
    LCD.clear();
    LCD.setCursor(0,0);
    LCD.print("Valor ensayo");
    LCD.setCursor(4,1);
    LCD.print("g/(10 rev)");
    while (salir == false)
    {
    LCD.setCursor(0,1);
    LCD.print(ingra[0]);

```

```

    LCD.setCursor(1,1);
    LCD.print(ingra[1]);
    LCD.setCursor(2,1);
    LCD.print(ingra[2]);
    lcd_key = read_LCD_buttons();
    delay(400);
    if( lcd_key == btnDERECHA)
    pos++;
    else if ( lcd_key == btnIZQUIERDA)
    pos--;
    else if ( lcd_key == btnARRIBA)
    ingra[pos]++;
    else if ( lcd_key == btnABAJO)
    ingra[pos]-;
    else if ( lcd_key == btnSELECCIONAR)
    salir = true;
    else if ( lcd_key == btnNADA)
    delay(1);
    if (pos < 0) pos = 0;
    if (pos > 2) pos = 2;
    if (ingra[0] < 0) ingra[0] = 0;
    if (ingra[1] < 0) ingra[1] = 0;
    if (ingra[2] < 0) ingra[2] = 0;
    if (ingra[0] > 9) ingra[0] = 9;
    if (ingra[1] > 9) ingra[1] = 9;
    if (ingra[2] > 9) ingra[2] = 9;
    }
    CanDer=(ingra[0]*100+ingra[1]*10+ingra[2]);
    LCD.clear();
    LCD.setCursor(0,0);
    LCD.print("PARAMETRO X DER");
    LCD.setCursor(0,1);
    LCD.print("GUARDADO");
    delay(2000);
    selec = 4;
    valor = 0;
    }
    if (selec == 3)
    {
    salir = true;
    }

```

```
    }
    else if ( lcd_key == btnNADA)
    delay(1);
    if (selec == 0) selec = 3;
    if (selec == 4) selec = 1;
    if (valor != selec)
    {
        if (selec == 1)
        {
            LCD.clear();
            LCD.setCursor(0,0);
            LCD.print("PARAMETRO X");
            LCD.setCursor(0,1);
            LCD.print("LADO IZQUIERDO");
        }
        if (selec == 2)
        {
            LCD.clear();
            LCD.setCursor(0,0);
            LCD.print("PARAMETRO X");
            LCD.setCursor(0,1);
            LCD.print("LADO DERECHO");
        }
        if (selec == 3)
        {
            LCD.clear();
            LCD.setCursor(0,0);
            LCD.print("VOLVER AL");
            LCD.setCursor(0,1);
            LCD.print("MENU PRINCIPAL");
        }
    }
}
}
}
void leergps()
{
    while(serialgps.available())
    {
        int c = serialgps.read();
        if(GPS.encode(c))
        {
```

```

float latitude, longitude;
GPS.f_get_position(&latitude, &longitude);
Serial.print("Latitud/Longitud: ");
Serial.print(latitude,10);
Serial.print(", ");
Serial.println(longitude,10);
Serial.print("Fecha: ");
Serial.print(day, DEC);
Serial.print("/");
Serial.print(month, DEC);
Serial.print("/");
Serial.print(year);
Serial.print(" Hora: ");
Serial.print(hour, DEC);
Serial.print(":");
Serial.print(minute, DEC);
Serial.print(":");
Serial.print(second, DEC);
Serial.print(".");
Serial.println(hundredths, DEC);
Serial.print("Altitud (metros): ");
Serial.println(GPS.f_altitude());
Serial.print("Rumbo (grados): ");
Serial.println(GPS.f_course());
Serial.print("Velocidad(kmph): ");
Serial.println(GPS.f_speed_kmph());
Serial.print("Satelites: ");
Serial.println(GPS.satellites());
Serial.println();
GPS.stats(&chars, &sentences, &failed_checksum);
LCD.setCursor(0,0);
LCD.print("Velocidad");
LCD.setCursor(0,1);
LCD.print(GPS.f_speed_kmph());
LCD.setCursor(5,1);
LCD.print("km/h");
VA = GPS.f_speed_kmph();
}
}
}
int read_LCD_buttons()

```

```
{  
  adc_key_in = analogRead(0);  
  if (adc_key_in < 900) return btnNADA;  
  if (adc_key_in > 50) return btnDERECHA;  
  if (adc_key_in < 150) return btnARRIBA;  
  if (adc_key_in > 350) return btnABAJO;  
  if (adc_key_in < 550) return btnIZQUIERDA;  
  if (adc_key_in > 850) return btnSELECCIONAR;  
}
```

El siguiente código de programación es el que se deberá utilizar en el Arduino Nano para hacer funcionar los motores paso a paso del sistema de dosificación.

```
//Librerias necesarias
#include <Wire.h> //Libreria de conexion I2C
//Definicion de señales motores PAP
#define DIR_PAP_1 4
#define STEP_PAP_1 5
#define DIR_PAP_2 6
#define STEP_PAP_2 7
int pause = 0;
int n = 0;
int motor = 0;
int pasos = 0;
boolean verificaIzq, verificaDer = false;
boolean ensayoIzq, ensayoDer = false;
int lado = 1;
int condicion = 1;
void setup()
{
  //Indica como salida a los siguientes pines
  pinMode(DIR_PAP_1, OUTPUT);
  pinMode(STEP_PAP_1, OUTPUT);
  pinMode(DIR_PAP_2, OUTPUT);
  pinMode(STEP_PAP_2, OUTPUT);
  //Inicia las bobinas de los motores descargadas
  digitalWrite(DIR_PAP_1,1);
  digitalWrite(STEP_PAP_1,0);
  digitalWrite(DIR_PAP_2,1);
  digitalWrite(STEP_PAP_2,0);
  //Inicia la comunicacion I2C
  Wire.begin(1);
  Wire.onReceive(reciveDatos);
}
void loop()
{
  if (motor == 1)
  {
    digitalWrite(STEP_PAP_1, HIGH);
    delay(pause);
```

```
    digitalWrite(STEP_PAP_1, LOW);
  }
  if (motor == 2)
  {
    digitalWrite(STEP_PAP_2, HIGH);
    delay(pause);
    digitalWrite(STEP_PAP_2, LOW);
  }
}
void reciveDatos(int howMany)
{
  if (verificaIzq = false)
  {
    if (Wire.available() == 2)
    {
      lado = Wire.read();
    }
    if (Wire.available() == 1)
    {
      condicion = Wire.read();
    }
    if ((lado == 1) and (condicion == 1))
    {
      for (int i=0; 200; i++)
      {
        digitalWrite(STEP_PAP_1, HIGH);
        delay(100);
        digitalWrite(STEP_PAP_1, LOW);
      }
    }
    if ((lado == 3) and (condicion == 3))
    {
      verificaIzq = true;
    }
  }
  if (verificaDer = false)
  {
    if (Wire.available() == 2)
    {
      lado = Wire.read();
    }
  }
}
```

```
if (Wire.available() == 1)
{
  condicion = Wire.read();
}
if ((lado == 2) and (condicion == 1))
{
  for (int i=0; 200; i++)
  {
    digitalWrite(STEP_PAP_2, HIGH);
    delay(100);
    digitalWrite(STEP_PAP_2, LOW);
  }
}
if ((lado == 3) and (condicion == 3))
{
  verificaDer = true;
}
}
if (ensayoIzq = false)
{
  if (Wire.available() == 1)
  {
    lado = Wire.read();
    if (lado == 1)
    {
      for (int i=0; 2000; i++)
      {
        digitalWrite(STEP_PAP_1, HIGH);
        delay(100);
        digitalWrite(STEP_PAP_1, LOW);
      }
    }
    if (lado == 3)
    {
      ensayoDer = true;
    }
  }
}
if (ensayoDer == false)
{
  if (Wire.available() == 1)
```

```
{
  lado = Wire.read();
  if (lado == 2)
  {
    for (int i=0; 2000; i++)
    {
      digitalWrite(STEP_PAP_2, HIGH);
      delay(100);
      digitalWrite(STEP_PAP_2, LOW);
    }
  }
  if (lado == 3)
  {
    ensayoDer = true;
  }
}
if (Wire.available() == 2)
{
  motor = Wire.read();
}
if (Wire.available() == 1)
{
  pasos = Wire.read();
}
pause=60/pasos;
}
```

## Apéndice C

### Ensayo según la Norma IRAM 8041

En este apéndice se encuentra resumido los distintos ensayos que se realizaron al prototipo.

## C.1 Ensayo según norma

Para realizar los ensayos se necesitan los siguientes instrumentos y aparatos: [17]

### **Bandejas colectoras:**

- 1000 mm x 250 mm, profundidad no menor que 150 mm (figura C.1)
- 500 mm x 500 mm, profundidad no menor que 150 mm (figura C.2)

Hay que tomar precauciones para evitar la proyecciones de fertilizantes por rebote fuera de las bandejas, utilizando elementos tales como:

- celdas de 50 mm x 50 mm, cuya altura no debe ser mayor que la mitad de la altura de la bandeja colectoras (figura C.1)
- malla no tensada sobre las bandejas (figura C.3)

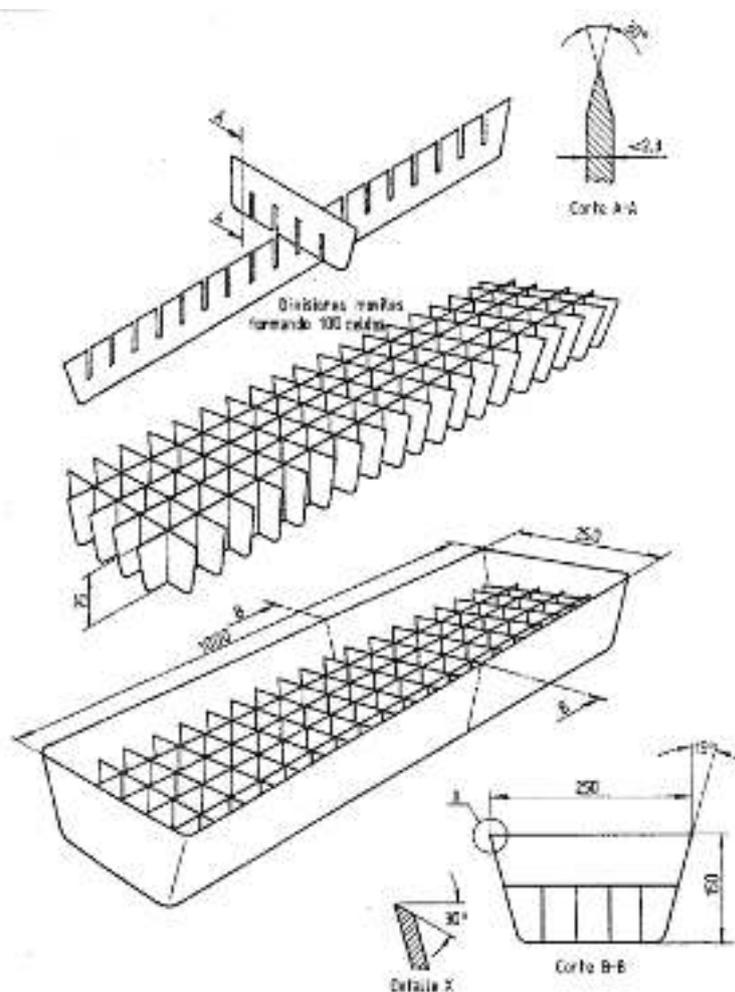


Figura C.1: Esquema de la bandeja colectora con el primer método anti proyecciones.

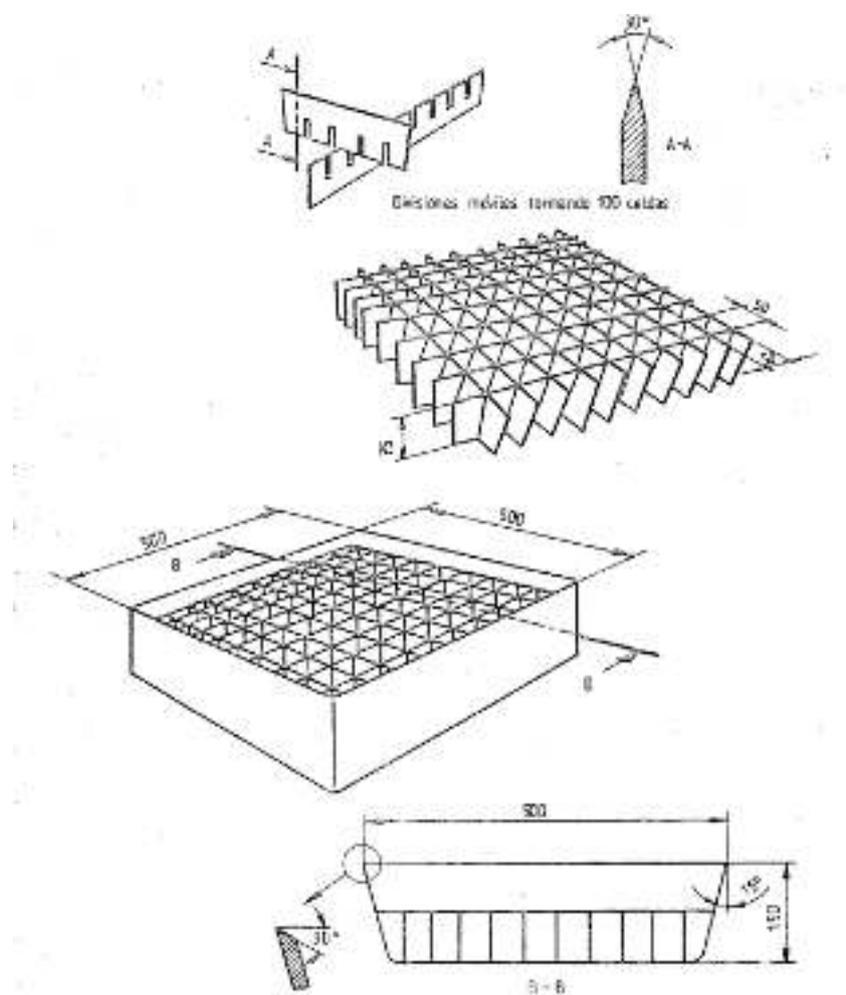


Figura C.2: Esquema de la bandeja colectora con el primer método anti proyecciones.

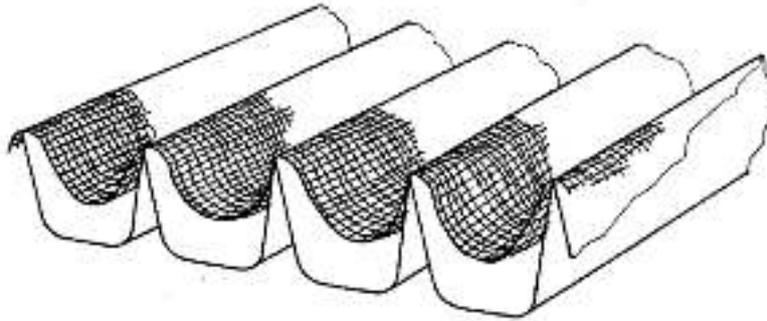


Figura C.3: *Esquema del segundo método anti proyecciones.*

**Instrumentos:**

- nivel, teodolito u otros instrumentos de medición indirecta
- cinta métrica de 25 m con una graduación mínima de 1 mm
- balanza de precisión que asegure 0,1 g,
- balanza que asegure 100
- tacómetro
- cronómetro
- anemómetro

**Banco de ensayo:**

Se debe suministrar a las ruedas motrices de la máquina un movimiento de avance relativo, de manera que simule el desplazamiento de la máquina sobre el terreno.

**Herramientas de mano:**

- Cepillo, de pelo fino con un ancho similar al de las bandejas colectoras
- Tarimas, si es que resulta necesario realizar ensayos con inclinación.

### C.1.1 Condiciones generales del ensayo

En la norma se presentan algunas condiciones que deben cumplir las unidades distribuidoras de fertilizantes que se van a ensayar. Como por ejemplo, estas se deben corresponder a una distribuidora de producción en serie, de un mismo modelo y de elección por el fabricante, debe ser de serie en todos sus aspectos, debe estar de acuerdo con las especificaciones del fabricante, debe ser nueva y asentada por él mismo.

Como en este trabajo solo se plantea la futura realización de solo una máquina distribuidora, vamos a saltarnos estas condiciones y solo tener en cuenta el punto 4.1.7 de la norma que dice: *"En el caso de un prototipo, el fabricante proveerá las especificaciones indicadas en la cédula de ensayo, las operaciones y las de mantenimiento"*. [17]

### C.1.2 Condiciones particulares del ensayo

La norma también establece condiciones sobre varios aspectos como el fertilizante, lugar de ensayo, requerimientos de la distribuidora, tolva, ancho de cobertura, colección.

Se analizó cada uno de los puntos y a continuación se nombrarán los más importantes.

- Se utilizará fertilizante granulado
- Se ensayará una densidad de entrega de 100 kg/ha y la densidades correspondientes a la mínima y máxima utilizadas en la práctica agrícola
- El lugar de ensayo debe tener una pendiente menor del 2%
- La velocidad del viento no debe superar los 2 m/s (7,2 km/h) medida a una altura de 2 m sobre el nivel del terreno
- La dirección de avance de la máquina debe ser en lo posible paralela a la dirección del viento
- La velocidad de avance deberá permanecer constante en todo el ensayo
- La tolva deberá cargarse hasta un 50% de su capacidad total.
- La cantidad de pasadas de la distribuidora sobre las bandejas colectoras deberá ser suficiente para que el fertilizante colectado por bandeja pueda ser pesado asegurando el 1% (0,1 g por 10 g)
- Todas las pasadas deberán realizarse con el mismo sentido de avance

### C.1.3 Tipos de ensayo a realizar

Se realizarán ensayos de dos tipos, estáticos y dinámicos. En los estáticos se analizará la dosificación, el efecto del nivel de la tolva y la distribución transversal, y en los dinámicos se analizará la distribución transversal horizontal, la distribución longitudinal y la velocidad de avance.

### C.1.4 Ensayo de dosificación

#### Procedimiento

Se regula la máquina para que el conjunto dosificador entregue una cantidad de material que proporcione una de las densidades de entrega establecidas en la sección C.1.2. Se colecta una cantidad de fertilizante en un tiempo no menor de un minuto de forma que dicha cantidad de fertilizante sea representativa para la pasada. [17]

Se repite el ensayo por lo menos tres veces para cada densidad de entrega. Se realiza el ensayo de igual manera para las otras densidades de entrega estipuladas en la sección C.1.2. Para convertir las dosis obtenidas, expresadas en kg/min, en densidades de entrega, expresada en kg/Ha, se utiliza el ancho efectivo, y la velocidad de avance de 8 km/h.

#### Expresión de los resultados

Los cálculos necesarios se realizan según la sección TAL (capítulo 9 de la norma) y los resultados se disponen en tablas como la tabla C.5 y en gráficos como el que se muestra en la figura C.6.

### C.1.5 Ensayo de efecto de nivel de tolva

#### Procedimiento

Se llena la tolva hasta uno de los niveles siguientes:

- tolva con capacidad completa,
- tolva a 1/2 de su capacidad,
- tolva a 1/4 de su capacidad,
- tolva a 1/8 de su capacidad.

Se regula la máquina para que entregue una de las densidades de entrega indicadas en la sección C.1.2. [17]

Se acciona la máquina, se colecta en uno de los recipientes la cantidad de fertilizante en un tiempo no menos que un minuto. Se repite tres veces. Se efectúa el ensayo de igual forma para las demás densidades de entrega y niveles, y con velocidad de avance de 8 km/h.

### Expresión de los resultados

Se realizan los cálculos correspondientes según la sección TAL (capítulo 9 de la norma) y se expresan disponiéndolos en una tabla como la tabla C.7, y en un gráfico como el que se muestra en la figura C.8.

## C.1.6 Ensayo de distribución transversal

### Condiciones

Se disponen las bandejas una junto a la otra cubriendo el ancho total de distribución, de modo que su eje longitudinal sea paralelo a la dirección de avance de la distribuidora. Las bandejas colectoras se numeran a partir del plano de la máquina asignando el N°1 a la bandeja colectora más próxima a izquierda y derecha, continuando con números correlativos hasta la bandeja más alejada como se muestra en la figura C.4. [17]

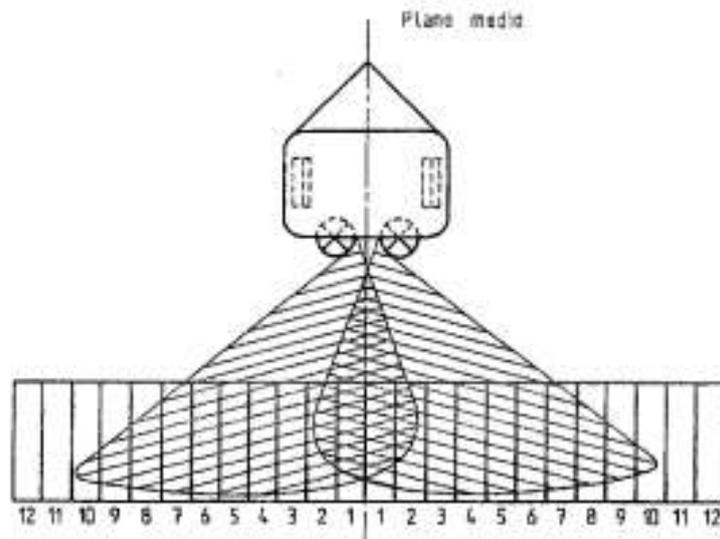


Figura C.4: Enumerado de las bandejas colectoras.

### Procedimiento

Se ubica la distribuidora de manera que se pueda asegurar la captación de las partículas proyectadas a la mayor distancia a izquierda y derecha del plano medio de la máquina como se muestra en la figura C.4.

Se regula la máquina para que distribuya una de las densidades de entrega indicadas en la sección C.1.2. Una vez accionada, se colecta el fertilizante en las bandejas. Con la ayuda de un cepillo se traspasa el contenido de cada bandeja a los recipientes de  $500\text{ cm}^3$  de capacidad. se pesa luego el contenido de cada recipiente, expresando el resultado en gramos.

Se repite de igual manera el ensayo para las densidades de entrega indicadas en la sección C.1.2 y en las tablas C.1 y C.2.

Ensayo	Velocidad relativa ( $km/h$ )	Densidad de entrega ( $kg/ha$ )	Fertilizante
Dosificación	8	Máx	Granulado
Dosificación	8	100	Granulado
Dosificación	8	Mín	Granulado
Nivel de tolva	8	100	Granulado
Transversal	8	Máx	Granulado
Transversal	8	100	Granulado
Transversal	8	Min	Granulado

Tabla C.1: Programación de los ensayos estáticos, en esta tabla se muestra solo la programación para el tipo de fertilizante granulado, la tabla completa se encuentra en la Norma, Tabla VII

Ensayo	Velocidad (km/h)	Densidad de entrega (kg/ha)	Fertilizante
Transversal horizontal	8	Máx	Granulado
Transversal horizontal	8	100	Granulado
Transversal horizontal	8	Mín	Granulado
Transversal inclinado	8	Mín	Granulado
Transversal inclinado	8	Máx	Granulado
Longitudinal	8	100	Granulado
Longitudinal	óptima	100	Granulado
Longitudinal	máxima	100	Granulado
Longitudinal con sacudida	8	100	Granulado
Longitudinal con sacudida	máxima	100	Granulado

Tabla C.2: Programación de los ensayos dinámicos, en esta tabla se muestra solo la programación para el tipo de fertilizante granulado, la tabla completa se encuentra en la Norma, Tabla VIII

### Expresión de los resultados

Se efectúan los cálculos necesarios indicados en la sección TAL (capítulo 9 de la norma) y se expresan disponiéndolos de acuerdo con la tabla C.9.

Los resultados se representan en gráficos como los ejemplificados en las figuras C.10, C.11 y C.12 (diagramas de distribución).

## C.2 Tablas y figuras - Ensayo de dosificación

Repetición	Dosis (kg/min)	Densidad de entrega efectiva (kg/ha)	
		Velocidad de avance	
		8 km/h	Otra
I			
II			
III			
X			
8			

Figura C.5: Tabla II - según la norma

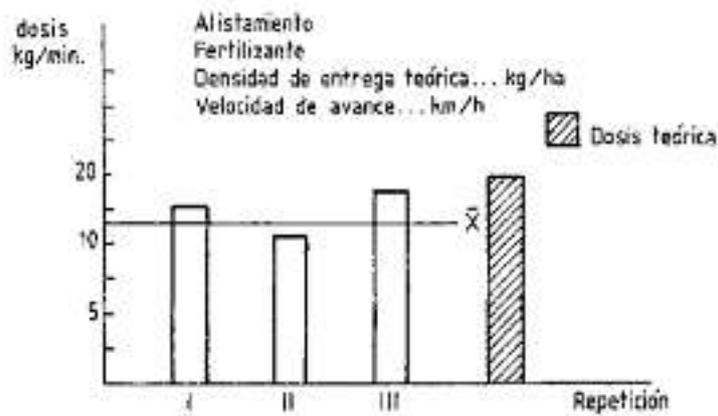


Figura C.6: Figura 8 - según la norma

### C.3 Tablas y figuras - Ensayo de efecto de nivel de tolva

Nivel de la tolva Repetición	Dosis efectiva (kg/ha)			
	Completa	Medio	Cuarto	Octavo
I				
II				
III				
Densidad de entrega efectiva (kg/ha)				
Por ciento correspondiente a la tolva llena				

Figura C.7: Tabla III - según la norma

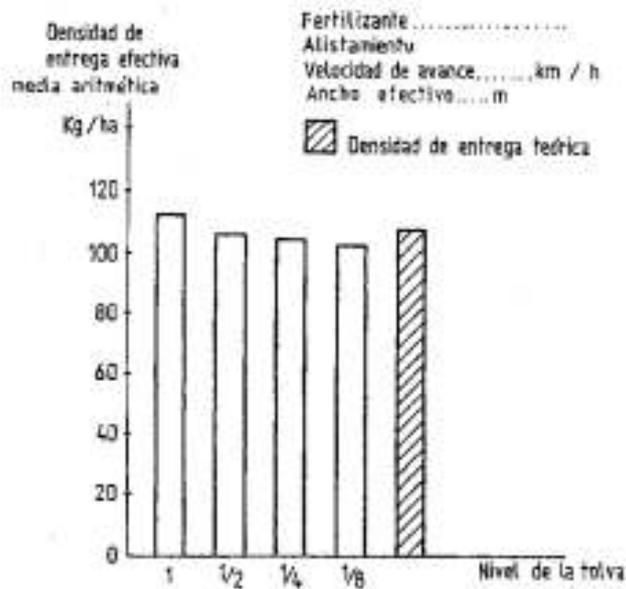


Figura C.8: Figura 9 - según la norma

### C.4 Tablas y figuras - Ensayo de distribución transversal

Lado izquierdo			Lado derecho		
Número de bandeja	Masa (g)	Resultado $\bar{X}$ (con solapamiento)	Masa (g)	Resultado $\bar{X}$ (con solapamiento)	
$\bar{X}$		-		-	
s		-		-	

Figura C.9: Tabla IV - según la norma

Fertilizante..	Alistamiento
Densidad de entrega teórica...kg/ha	Lado derecho
Velocidad de avance...km/h	
$\bar{X}$ =	$\bar{X}$ =
S =	S =
CV =	CV = %

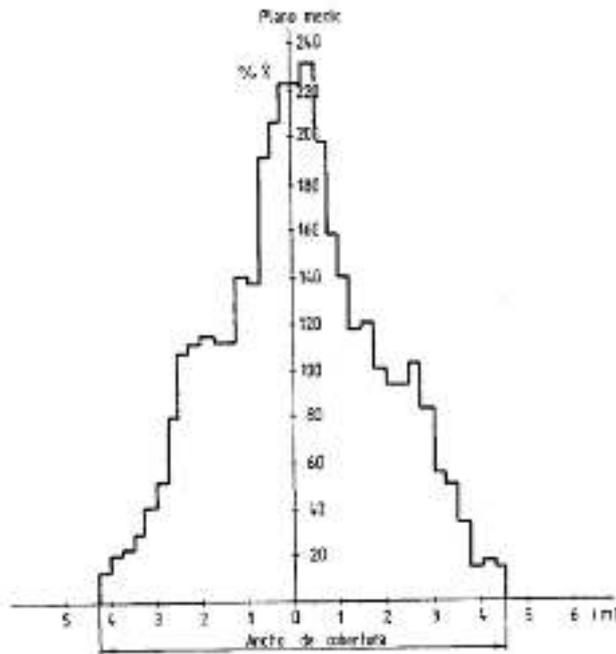


Figura C.10: Diagrama de distribución transversal - Figura 11 - según la norma

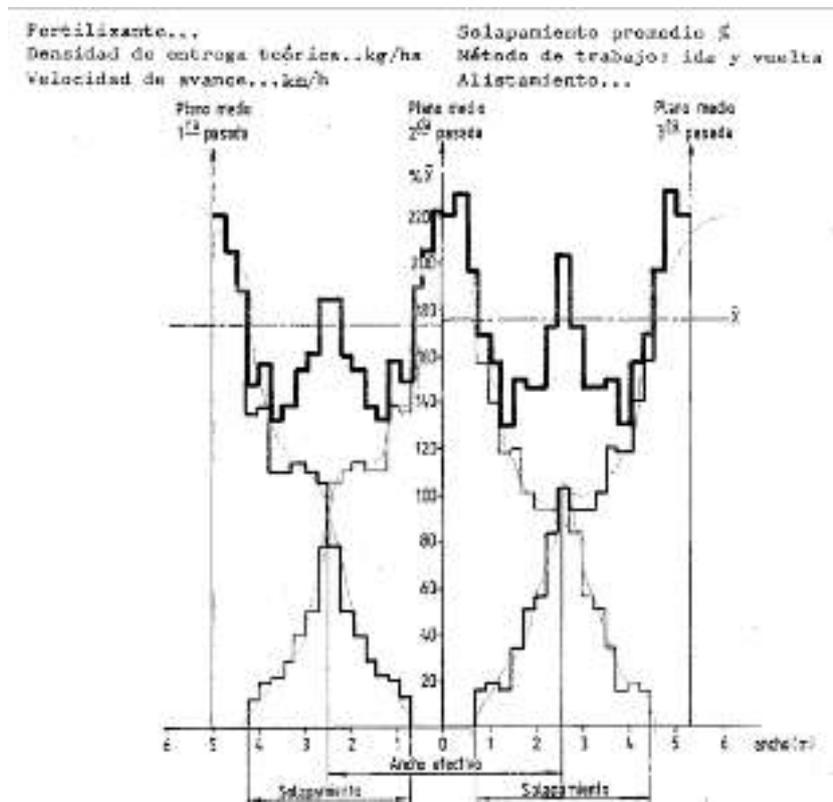


Figura C.11: Diagrama de distribución transversal con solapamiento para el método de trabajo de ida y vuelta - Figura 12 - según la norma

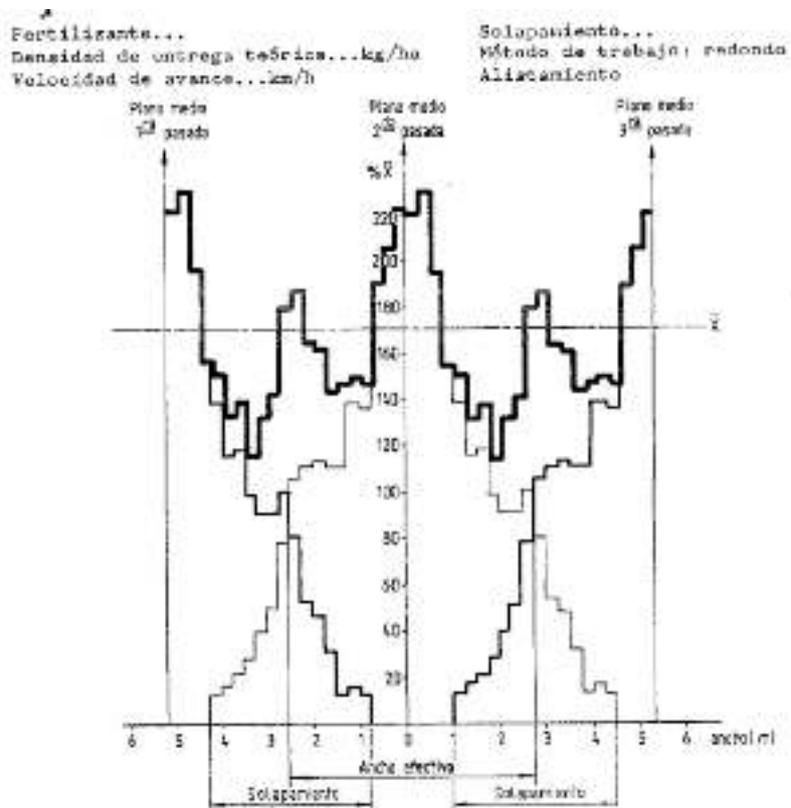


Figura C.12: Diagrama de distribución transversal con solapamiento para el método de trabajo en redondo - Figura 14 - según la norma

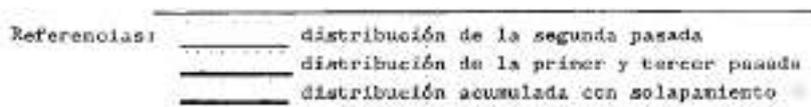


Figura C.13: Referencias para los diagramas anteriores.

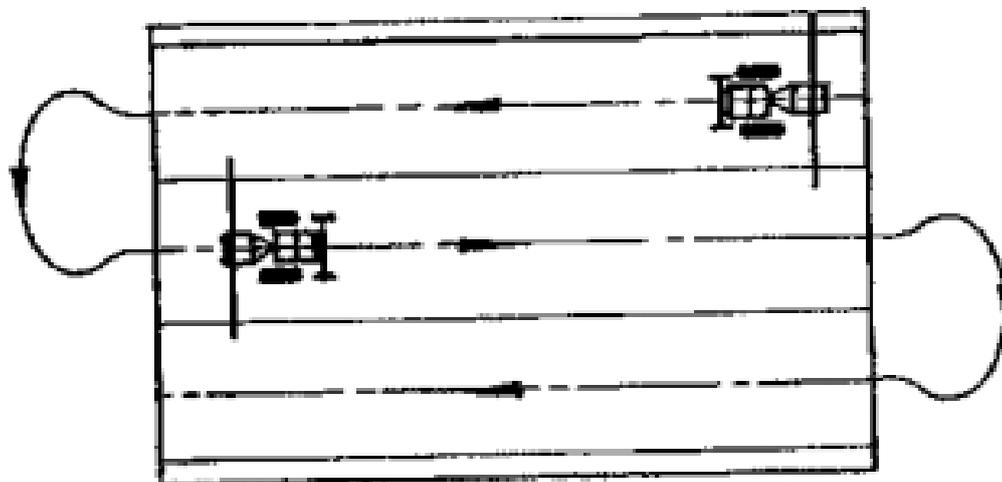


Figura C.14: Esquema de trabajo ida y vuelta.

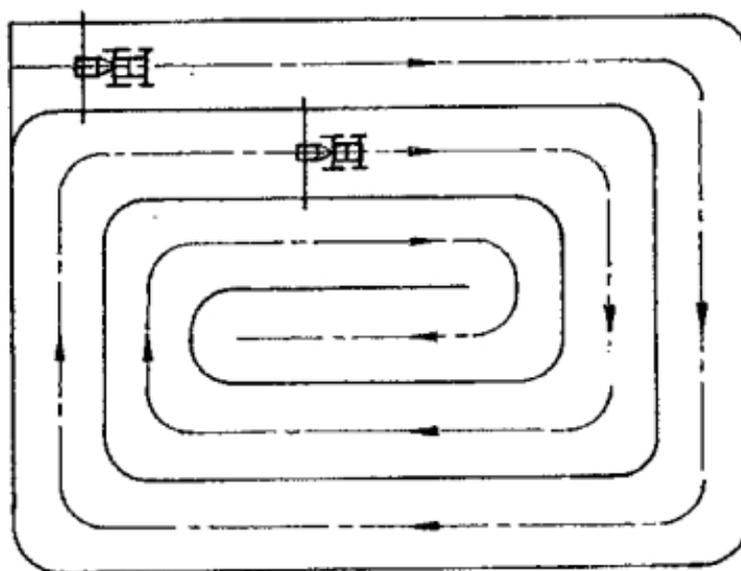


Figura C.15: Esquema de trabajo en redondo.

# Apéndice D

## Planos

**Apéndice E**

**Apéndice Matemático**

## E.1 Tornillo distribuidor

### E.1.1 Capacidad de transporte

#### Área de relleno

El área de relleno  $S$  de la canaleta que ocupa el material que mueve el transportador, se puede obtener mediante la siguiente expresión: [9]

$$S = \lambda \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

- $S$ : área de rellena del transportador [ $m^2$ ]
- $D$ : diámetro de la canaleta [ $m$ ]
- $\lambda$ : coeficiente de relleno de la sección

En la tabla E.1 se indican los valores de coeficiente de relleno ( $\lambda$ ) en función del tipo de carga que transporta el tornillo:

Tipo de carga	Coeficiente de relleno ( $\lambda$ )
Pesada y abrasiva	0,125
Pesada y poco abrasiva	0,25
Ligera y poco abrasiva	0,32
Ligera y no abrasiva	0,4

Tabla E.1: *Coeficiente de relleno en función del tipo de carga.*

#### Velocidad de desplazamiento del transportador

La velocidad de desplazamiento ( $v$ ) del transportador es la velocidad con la que se deslaza el material en la dirección longitudinal del eje del tornillo. Depende tanto del paso del tornillo como de su velocidad de giro.

La expresión que permite conocer la velocidad de desplazamiento en un transportador de tornillo es la siguiente:

$$v = \frac{p \cdot n}{60}$$

- $v$ : velocidad de desplazamiento del transportador [ $m/s$ ]
- $p$ : paso del tornillo o paso de hélice [ $m$ ]
- $n$ : velocidad de firo del eje [ $RPM$ ]

### Determinación del flujo del material

La *capacidad de transporte* de un transportador de tornillo sin fin viene determinada por la siguiente expresión que calcula el flujo de material transportado:

$$Q = 3600 \cdot S \cdot v \cdot \rho \cdot i$$

- Q: flujo de material transportado [t/h]
- S: área de rellena del transportador [m<sup>2</sup>]
- v: velocidad de desplazamiento del transportador [m/s]
- $\rho$ : densidad del material transportado [t/m<sup>3</sup>]
- i: coeficiente de disminución del flujo de material debido a la inclinación del transportador.

En la tabla E.2 se muestran los valores de este coeficiente de disminución de flujo (*i*) que indica la reducción de capacidad de transporte debida a la inclinación.

Inclinación de la canaleta	0°	5°	10°	15°	20°
<i>i</i>	1	0,9	0,8	0,7	0,6

Tabla E.2: *Coficiente de disminución.*

Si se sustituye las expresiones que calculan el área de relleno del transportador (*S*) y de la velocidad de desplazamiento (*v*) la capacidad de flujo de material transportado (*Q*) resultaría finalmente como:

$$Q = 3600 \cdot \lambda \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \frac{p \cdot n}{60} \cdot \rho \cdot i$$

- $\lambda = 0,3$
- $D = 0,1$  m
- $p = 0,1$  m
- $n = 200$
- $\rho = 0,7$  [t/m<sup>3</sup>]
- $i = 1$
- $Q = 0,55$  Kg/s

### E.1.2 Potencia de accionamiento

La potencia de accionamiento ( $P$ ) de un transportador de tornillo sin fin se compone de la suma de tres componentes principales, según se refleja en la siguiente expresión:

$$P = P_H + P_N + P_i$$

- $P_H$ : potencia necesaria para el desplazamiento horizontal del material [W]
- $P_N$ : potencia necesaria para el accionamiento del tornillo en vacío [W]
- $P_i$ : potencia necesaria para el caso de un tornillo sin fin inclinado [W]

#### Potencia para el desplazamiento horizontal del material $P_H$

La potencia necesaria para realizar el desplazamiento horizontal del material se calcula mediante la siguiente expresión:

$$P_H(KW) = c_0 \cdot \frac{Q \cdot L}{367}$$

- $Q$ : flujo de material transportado [t/h].
- $L$ : longitud del transportador [m].
- $c_0$ : coeficiente de resistencia del material transportado.

Para el conocer el valor del coeficiente  $c_0$ , se puede emplear la tabla E.3 obtenida empíricamente a partir del ensayo con materiales de distinta naturaleza.

Tipo de material	Valor de $c_0$
Harina, aserrín, productos granulosos	1,2
Turba, sosa, polvo de carbón	1,6
Antracita, carbón, sal de roca	2,5
Yeso, arcilla seca, tierra fina, cemento, cal, arena	4

Tabla E.3: *Coficiente de resistencia del material.*

**Potencia de accionamiento del tornillo en vacío  $P_N$** 

La potencia necesaria para el accionamiento del tornillo en vacío se puede calcular con bastante aproximación mediante la siguiente expresión:

$$P_N(KW) = \frac{D \cdot L}{20}$$

- D: diámetro de la sección de la canaleta de la carcasa del transportador [m]
- L: longitud del transportador [m]

Normalmente, el valor nominal de esta potencia es muy pequeña en comparación con la potencia necesaria para el desplazamiento del material.

**Potencia para el caso de un tornillo sin fin inclinado  $P_i$** 

Esta componente se aplica para el caso que se use un transportador de tornillo inclinado, donde exista una diferencia de cota ( $H$ ) entre la posición de la boca de entrada del material y la boca de salida o de descarga.

En este caso, la potencia necesaria para realizar el desplazamiento del material por un transportador de tornillo inclinado se emplea la siguiente expresión:

$$P_i(KW) = \frac{Q \cdot H}{367}$$

- Q: flujo de material transportado [t/h]
- H: altura de la instalación [m]

Finalmente, la potencia total ( $P$ ) necesaria para el accionamiento de un transportador de tornillo resulta de la suma de las distintas necesidades de potencias calculadas.

$$P = P_H + P_N + P_i = c_0 \cdot \frac{Q \cdot L}{367} + \frac{D \cdot L}{20} + \frac{Q \cdot H}{367}$$

- $c_0 = 2,5$
- $L = 2,5$  m
- $D = 0,1016$  m
- $H = 0$  m
- $P = 45$  W

## E.2 Relación entre la dosificación y el caudal de fertilizante

Se realizó un simple análisis para obtener una relación entre dos variables que son de suma importancia para los cálculos de dimensiones de la máquina.

### E.2.1 Análisis

Sabiendo que la velocidad de avance es en promedio de  $12\text{km/h}$ , que la dosificación máxima esperable es de  $400\text{kg/hect}$  y que el ancho de labor de la mitad de la máquina es de  $2,5\text{m}$  se plantea una parcela como se muestra en la figura E.1, cuya superficie es equivalente a una hectárea:

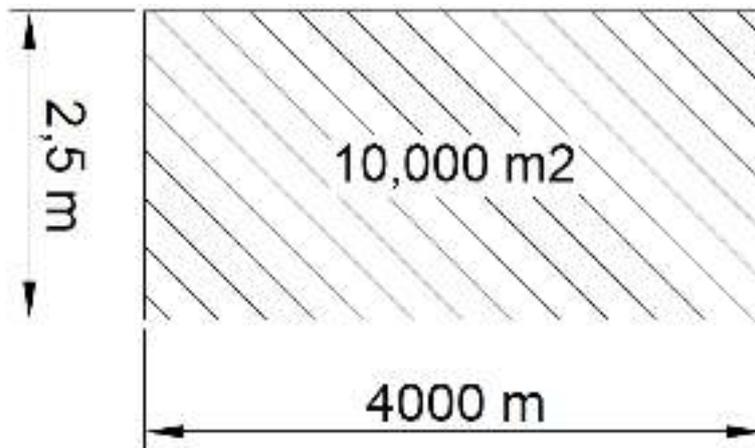


Figura E.1: Parcela de una hectárea.

De aquí se obtiene que el caudal ( $Q$ ) debe ser proporcional a la dosificación deseada ( $D$ ), a la velocidad de avance ( $v$ ), al ancho de labor ( $L$ ), multiplicado por un factor de conversión correspondiente para obtener igualdad de unidades. La ecuación resultante queda de la siguiente forma:

$$Q = \frac{D \cdot L \cdot v}{10000}$$

Donde,

$Q$  está en  $\text{kg/s}$ ,  $D$  está en  $\text{kg/hect}$ ,  $v$  está en  $\text{m/s}$ ,  $L$  está en  $\text{m}$ .

Como el ancho de labor es fijo al igual que la velocidad, de la ecuación anterior se pueden obtener el caudal si el dato es la dosificación deseada, o el caso inverso, la dosificación si el dato es el caudal.

Éste análisis se realizó solo para la mitad de la máquina, ya que el equipo podrá trabajar como dos mitades gemelas e independientes.

## E.3 Velocidad máxima para el rodillo dosificador

A partir de los ensayos sobre el rodillo realizados en la sección 4.5.3, se realizó un análisis para obtener una velocidad de rotación máxima y una mínima que aseguren la correcta dosificación de fertilizante cuando se requiere la máxima concentración sobre el suelo.

### E.3.1 Análisis

Sabiendo que la velocidad de avance es en promedio de  $12 \text{ km/h}$ , que el ancho de labor de la mitad de la máquina es de  $2,5 \text{ m}$  y además se considerará una dosificación máxima de  $600 \text{ kg/hect}$  para obtener un margen de seguridad, se plantea una parcela igual a la de figura E.1.

Del ensayo de la sección 4.5.3 se pudo determinar que la relación entre agujeros (de los que disponía el rodillo) y la masa de fertilizante dosificado en una revolución completa es de  $2 \text{ g/vuelta}$ .

Como el rodillo que se fabricará tiene 2988 agujeros, la cantidad de fertilizante dosificado en una revolución es de  $972 \text{ g/vuelta}$ . Entonces para que este rodillo dosifique  $600 \text{ kg/hect}$  deberá realizar 617 vueltas.

Por otro lado se calculó el tiempo que tarda la maquina en recorrer los  $4000 \text{ m}$  de la parcela de la figura E.1. El tiempo dio como resultado  $t = 1200 \text{ s}$ . Luego, resolviendo la siguiente ecuación se obtuvo la velocidad máxima de rotación.

$$\omega = \frac{\text{rev}}{t} = \frac{617}{1200} = 0,52 \left[ \frac{\text{rev}}{\text{s}} \right] = 31 \text{ [rpm]} = 3,3 \left[ \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right]$$

Realizando el mismo análisis pero para una dosificación de  $40 \text{ kg/hect}$  se obtuvo que el rodillo deberá realizar 42 revoluciones. Luego, resolviendo la siguiente ecuación se obtuvo la velocidad mínima de rotación.

$$\omega = \frac{\text{rev}}{t} = \frac{42}{1200} = 0,035 \left[ \frac{\text{rev}}{\text{s}} \right] = 2 \text{ [rpm]} = 0,22 \left[ \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right]$$

## E.4 Elásticos

Para definir los paquetes de elásticos que soportarán al equipo se recurrió a elementos comerciales aptos para cargas de al menos 600 Kg. Se seleccionaron trailers *Leloir* que se ofrecen para transporte de hasta 800 Kg. Este kit está compuesto por dos juegos de 3 hojas cada uno. El mismo mide 650 mm de largo y 50 de ancho. El espesor de cada hoja es de 7 mm.

Para verificar la selección, se simplifica el sistema como una viga de espesor constante con un empotramiento en el centro (figura E.2). Se trabaja entonces con un lado del mismo que se considera una viga de longitud 32,5 cm empotrada en un extremo con la mitad de la carga aplicada sobre el otro (figura E.3).

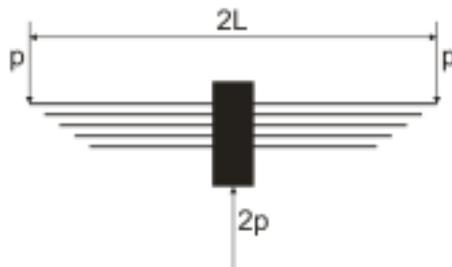


Figura E.2: *Paquete de elásticos como viga con empotramiento central.*

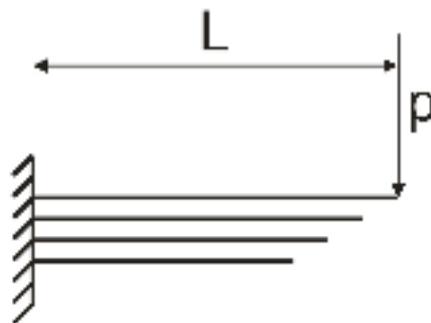


Figura E.3: *Medio paquete de elásticos como viga empotrada.*

Se estima un peso total del equipo cargado de 600 Kg. Esto significa que cada elástico soportará unos 300 Kg, y cada uno de sus extremos, 150 Kg.

Flecha máxima para el caso de viga empotrada con carga normal en un extremo:

$$x = \frac{P \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot I \cdot n}$$

- P: fuerza aplicada [N]
- L: longitud viga [m]
- E: módulo de Young del material [ $\frac{N}{m^2}$ ]
- I: momento de inercia de una hoja [ $m^4$ ]
- n: cantidad de hojas por paquete

Momento de inercia de cada hoja:

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12 \cdot n^3}$$

Así, la flecha queda como:

$$x = \frac{4 \cdot P \cdot L^3 \cdot n^2}{E \cdot b \cdot h^3}$$

La constante elástica se define como:

$$K = \frac{P}{x}$$

$$K = \frac{E \cdot b \cdot h^3}{4 \cdot L^3 \cdot n^2}$$

- E = 2,1 · 10<sup>11</sup> [ $\frac{N}{m^2}$ ]
- b = 0,5 [m]
- h = 0,021 [m]
- L = 0,325 [m]
- n = 3

$$K_{elastico} = 8738 [\frac{N}{m}]$$

A la constante elástica de las ruedas se le asignó un valor de 80.000 [ $\frac{N}{m}$ ] [18]. Por ser un sistema en el que los dos elementos elásticos están en serie, la constante elástica resultante se calcula:

$$\frac{1}{K_{total}} = \frac{1}{K_{elastico}} + \frac{1}{K_{rueda}}$$

$$K_{total} = 7877 \left[ \frac{N}{m} \right]$$

El primer modo natural de oscilación se determina de la siguiente forma:

$$f_1 = \frac{1}{2 \cdot \pi} \sqrt{\frac{K_{total}}{M_{susp}}}$$

- $M_{susp}$ : masa suspendida [Kg]

Para el caso en que el equipo esté lleno, su peso total se estima en 600 Kg, y la masa suspendida para cada brazo de elásticos en 150Kg. Si el equipo está por lo contrario vacío, su peso se estima en 400 Kg y la masa suspendida en 100 Kg.

$$f_1(M_{susp} = 150) = 1,1Hz$$

$$f_1(M_{susp} = 100) = 1,4Hz$$

## E.5 Rodamientos

Para la selección de los rodamientos de los extremos del tornillo transportador, se consultaron catálogos de rodamientos.

La condición de diseño es que su pista interior sea de 1" (una pulgada). Ya que los que cumple con esa condición soportan una gran carga tanto radial como axial, se procedió a seleccionar el que mejor se adapte al diseño.

En la figuras E.4, E.5, E.6 se puede observar el rodamiento seleccionado y las cargas que es capaz de soportar:

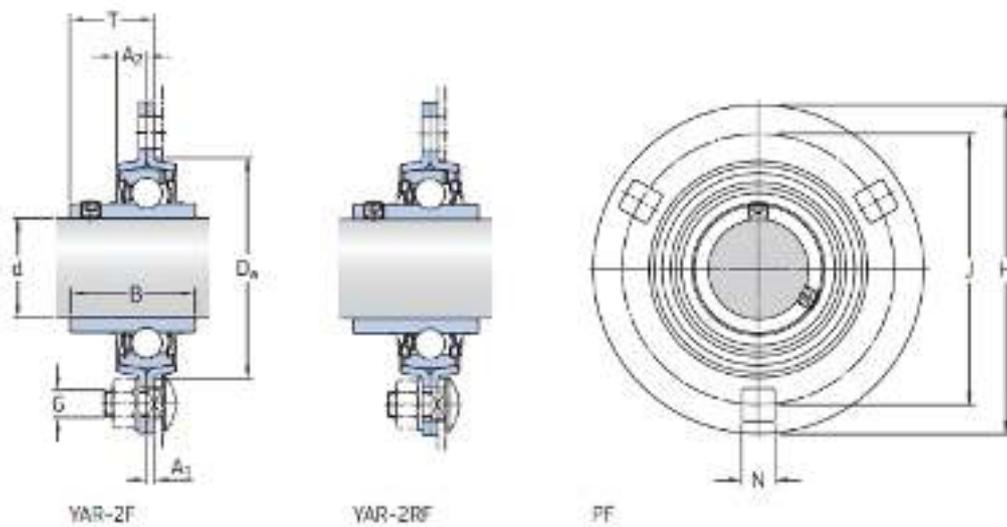


Figura E.4: *Esquema del rodamiento.*

Dimensions											Designation Bearing unit No order designation
d	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	B	D <sub>1</sub>	H	H <sub>2</sub> /L	J	N	G	T	
in/mm											-
1 25.4	0.08 2	0.35 9	1.34 34.1	2.36 60	3.74 95	-	2.99 76	0.34 8.7	3/4 8	0.86 21.8	PF 1. TF
	0.08 2	0.35 9	1.34 34.1	2.36 60	3.74 95	-	2.99 76	0.34 8.7	3/8 8	0.86 21.8	PF 1. TR
	0.08 2	0.35 9	1.34 34.1	2.36 60	3.74 95	1.34 34	2.99 76	0.34 8.7	3/4 8	0.86 21.8	PFD 1. TF
	0.08 2	0.35 9	1.34 34.1	2.36 60	3.74 95	1.34 34	2.99 76	0.34 8.7	3/8 8	0.86 21.8	PFD 1. TR
	0.08 2	0.35 9	1.34 34.1	2.36 60	3.74 95	2.80 71	2.99 76	0.34 8.7	3/4 8	0.86 21.8	PFT 1. TF
	0.08 2	0.35 9	1.34 34.1	2.36 60	3.74 95	2.80 71	2.99 76	0.34 8.7	3/8 8	0.86 21.8	PFT 1. TR

Figura E.5: Medidas del rodamiento.

Designation Bearing unit No order designation	Order designations		Basic load ratings		Fatigue load limit P <sub>1</sub>	Permissible housing load radial	Mass Bearing unit
	Housing	Bearing	dynamic C	static C <sub>0</sub>			
			lb/IN		lb/IN	lb/IN	lb/kg
PF 1. TF	PF 52	YAR 205-100-2F	3150 14	1760 7.8	80 0.335	810 3.6	0.77 0.35

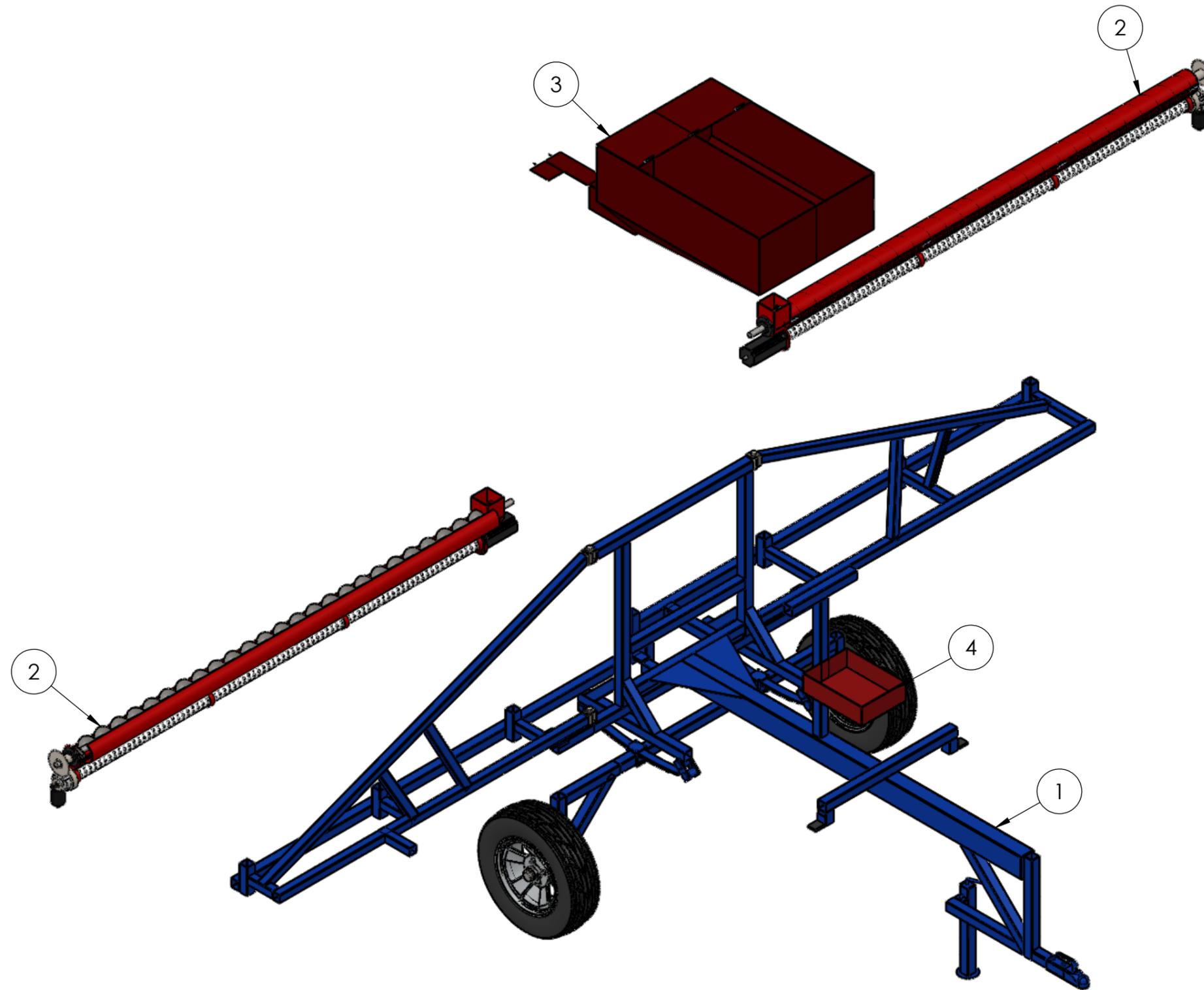
Figura E.6: Capacidades de carga del rodamiento.

El rodamiento seleccionado para el trabajo es el *PF 1.TF*. La carga estática equivalente (donde se contempla el accionar tanto de la radial como de la axial) que puede soportar es de 780 Kg. Este valor supera el peso total del equipo por lo que, se asume, cumplirá satisfactoriamente con el trabajo bajo las solicitaciones en servicio.

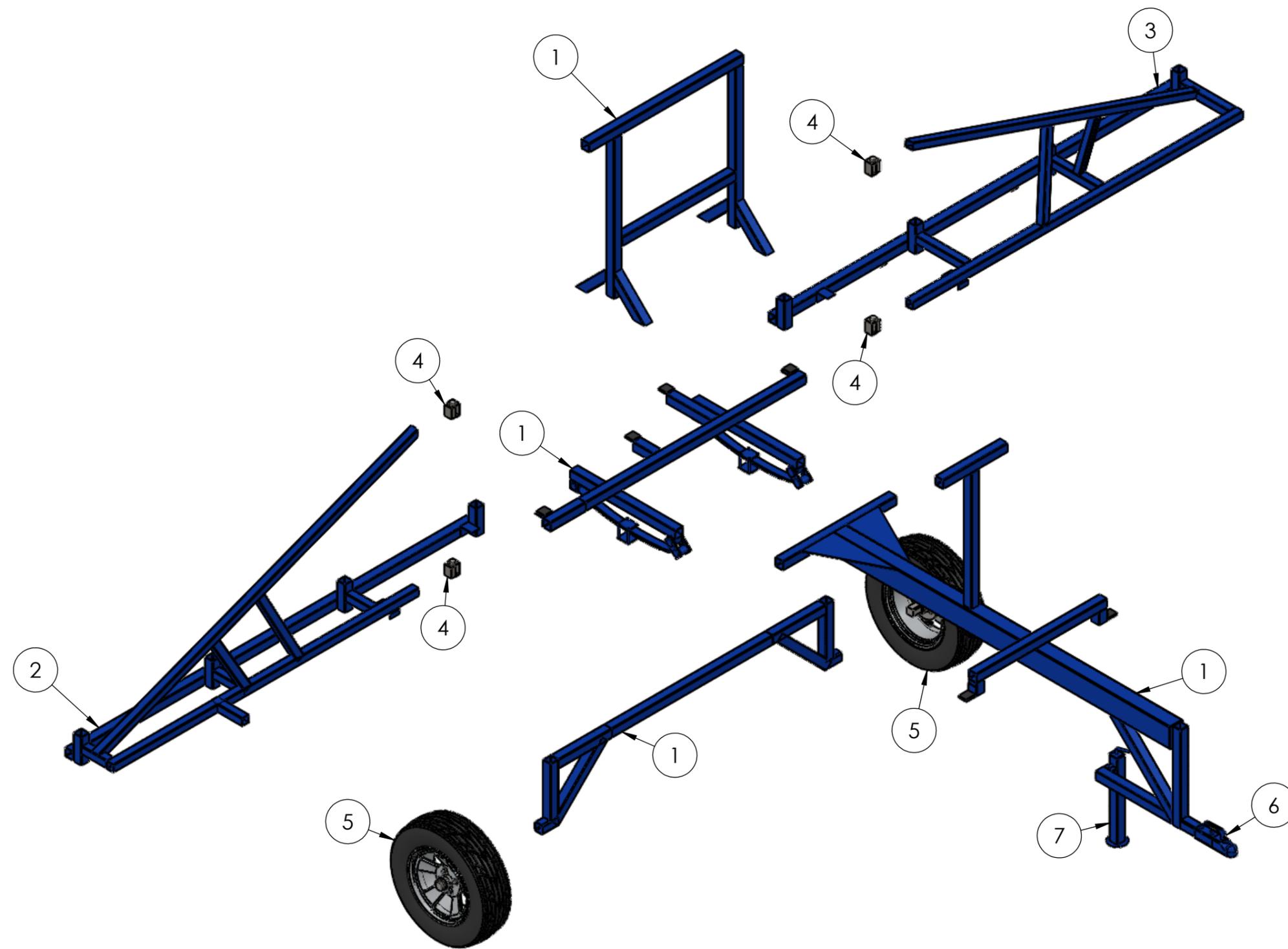
# Bibliografía

- [1] INTA: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria,  
<http://inta.gob.ar/>
- [2] INTA: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria,  
<http://intainforma.inta.gov.ar/?p=34150>
- [3] Propiedades generales de los fertilizantes. Ricardo Guerrero Riascos.  
*Manual Técnico.*
- [4] Tipos de fertilización, Hydro Environment,  
[https://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main\\_page=page&id=250](https://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=250)
- [5] Dr. Dommarco Ricardo. *Módulo Abrasión.* Tribología, Departamento de Mecánica, UNMDP, 2016.
- [6] Arduino: Single-Board Computer,  
<https://es.wikipedia.org/wiki/Arduino>
- [7] Dr. Ing. Carciochi, Ing. Tourn. *Fertilizantes y Fertilizadoras.* Facultad de Ciencias Agrarias, Unidad Integrada Balcarce.
- [8] Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes.  
*Los fertilizantes y su uso.* IFA, Paris, 1992, <http://www.fertilizer.org>.
- [9] Cálculo de transportadores de tornillo sin fin,  
<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn143.html>
- [10] Beer, Johnston, Clausen. *Mecánica vectorial para ingenieros.* Dinámica, Mc Graw Hill, Octava Edición, 2007.
- [11] Data Sheet: 2N2222; 2N2222A, NPN switching transistors,  
<http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheet/philips/2N222.pdf>
- [12] Data Sheet: L293D; H-Bridge,  
<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/22432/STMICROELECTRONICS/L293D.html>

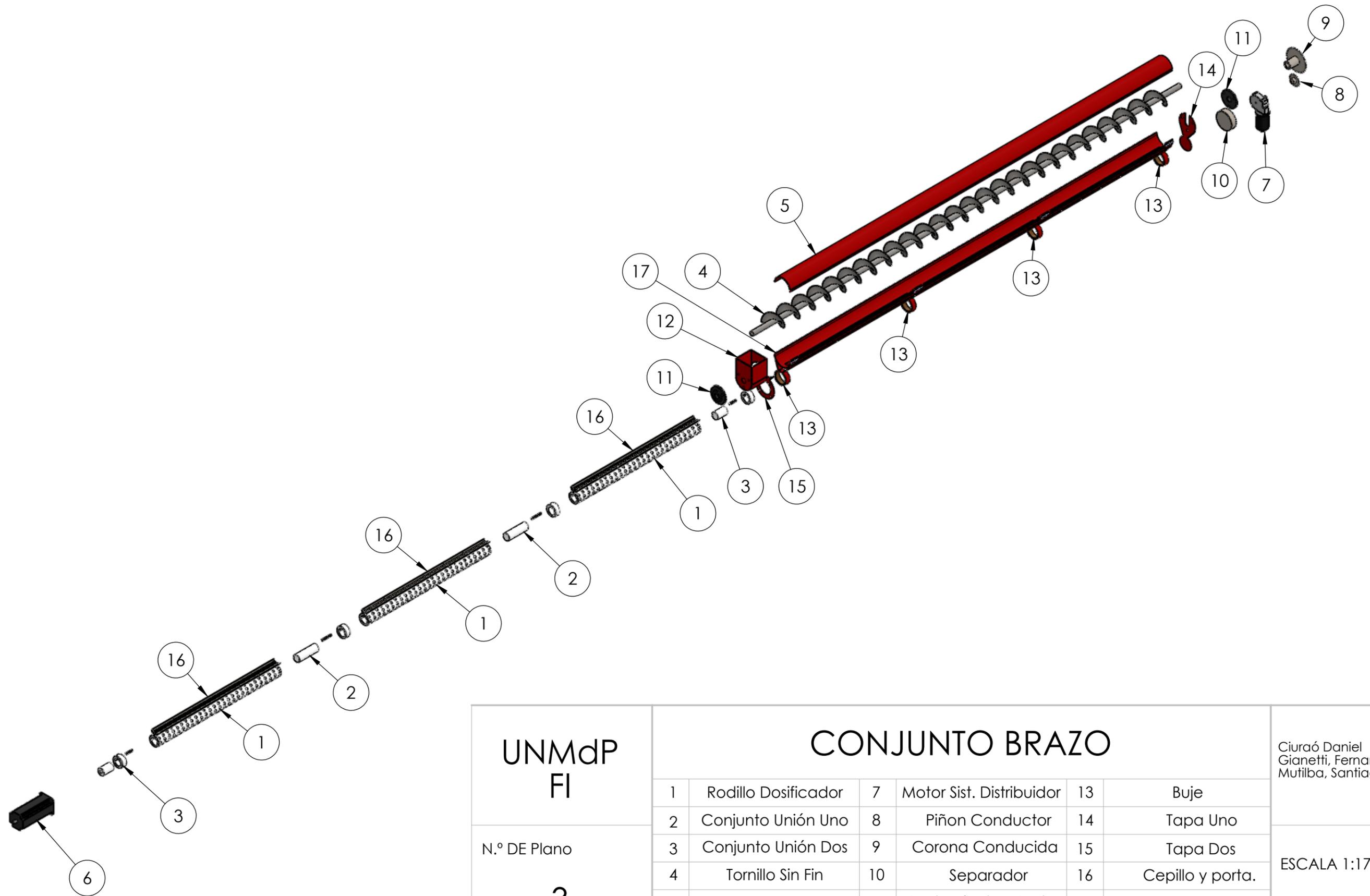
- [13] Data Sheet: L298N; H-Bridge,  
<http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/22440/STMICROELECTRONICS/L298N.html>
- [14] Monster Moto Shield: VNH2SP30; H-Bridge,  
<https://www.sparkfun.com/>
- [15] Como preparar el campo para el proceso de siembra,  
<https://www.larrosa-arnal.com/blog/preparar-campo-proceso-siembra/>
- [16] Serway, Vuille. *Fundamentos de Física*. Física, Cengage Learning, Octava Edición, 2010.
- [17] Norma IRAM 8041 *Parte I y Parte II*. CDV 631.33, CNA 3710, Agosto 1991.
- [18] Modelo de rigidez lateral estático de neumáticos  
[http : //bdigital.uncu.edu.ar/objetos\\_digitaes/10943/zaradnik02 – pdf – compressed.pdf](http://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitaes/10943/zaradnik02-pdf-compressed.pdf) Raúl Zaradnik, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo, Centro Universitario, Mendoza.



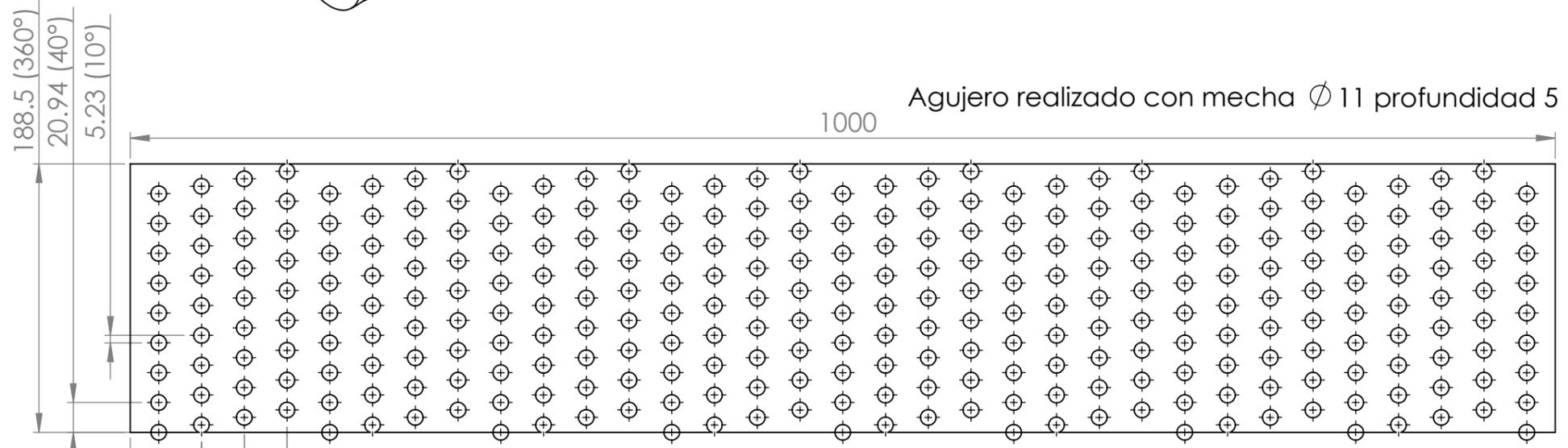
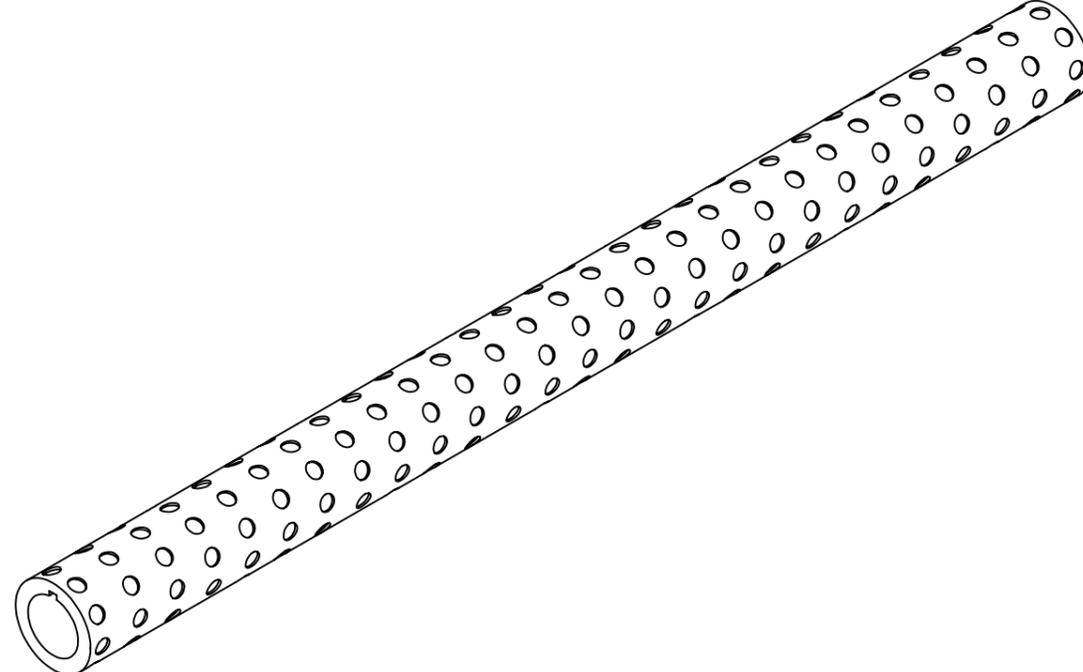
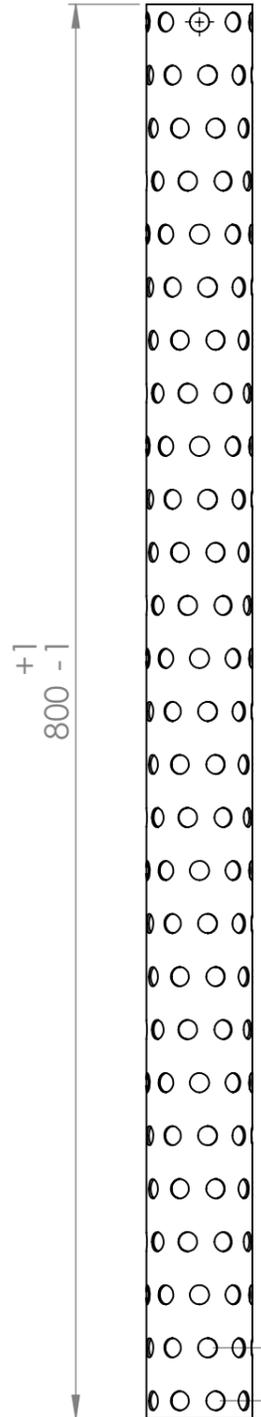
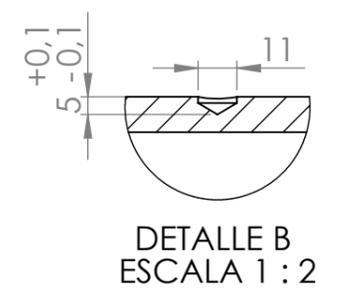
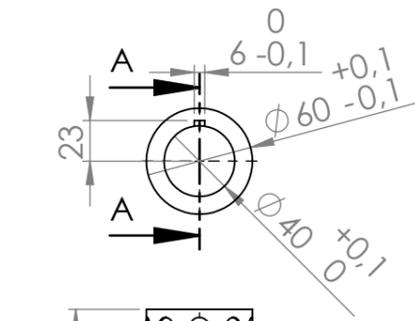
UNMdP FI	Conjunto Fertilizadora		Ciurao Daniel Gianetti, Fernando Mutilba, Santiago
N.º DE Plano	1	Conjunto Chasis	ESCALA: 1:20 A3
1	2	Conjunto Brazo	
	3	Tolva	
	4	Porta Baterias	



UNMdP FI	CONJUNTO CHASIS				Ciuró Daniel Gianetti, Fernando Mutilba, Santiago														
	N.º DE Plano	2	<table border="1"> <tr> <td>1</td> <td>Chasis</td> <td>5</td> <td>Conjunto Rueda</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Estructura Derecha</td> <td>6</td> <td>Conjunto Enganche</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Estructura Izquierda</td> <td>7</td> <td>Pata estabilizadora</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Conjunto Perno</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	1		Chasis	5	Conjunto Rueda	2	Estructura Derecha	6	Conjunto Enganche	3	Estructura Izquierda	7	Pata estabilizadora	4	Conjunto Perno	
1	Chasis	5	Conjunto Rueda																
2	Estructura Derecha	6	Conjunto Enganche																
3	Estructura Izquierda	7	Pata estabilizadora																
4	Conjunto Perno																		
					A3														

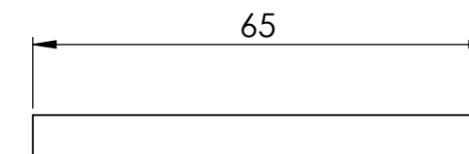
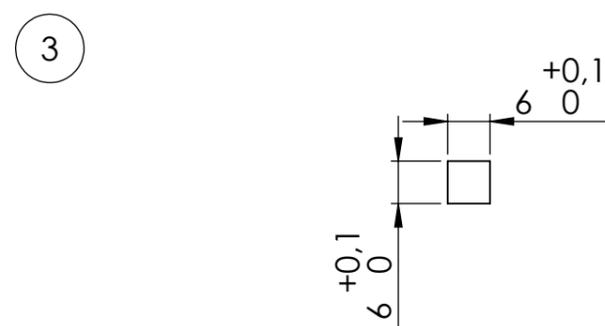
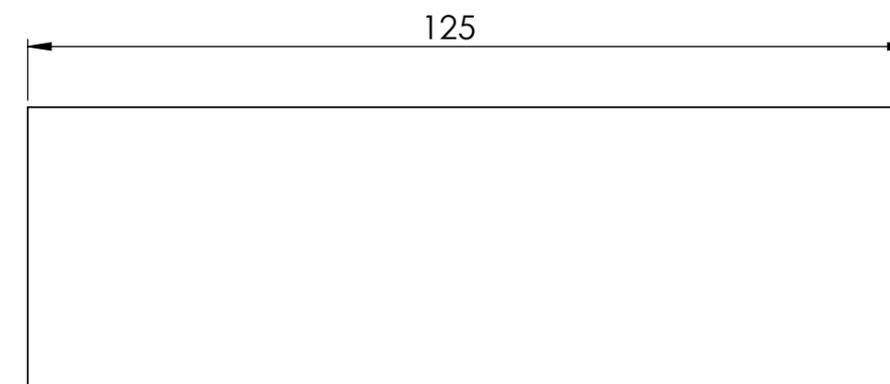
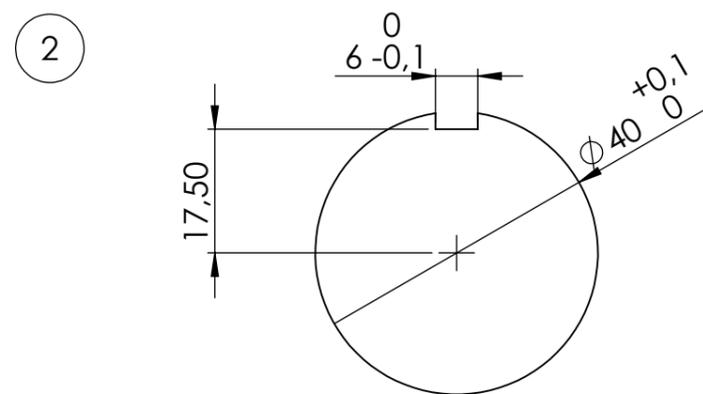
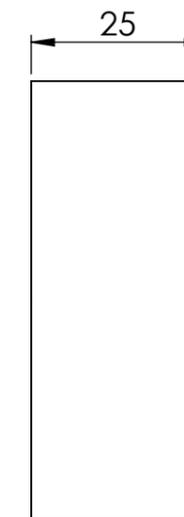
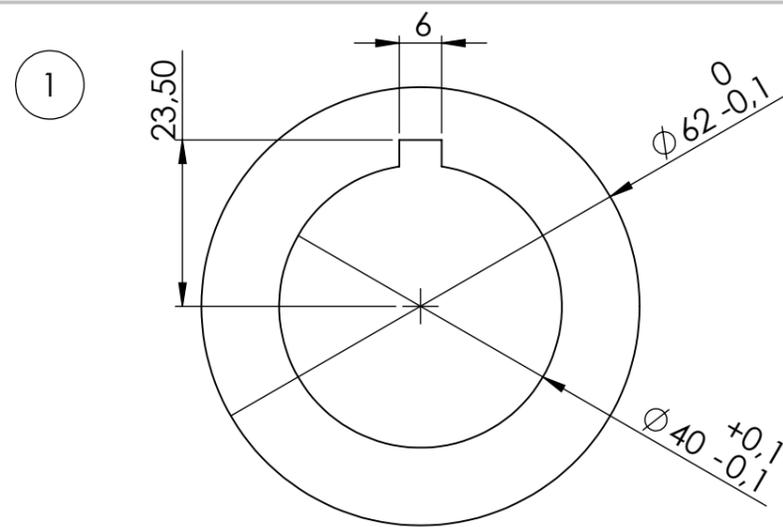
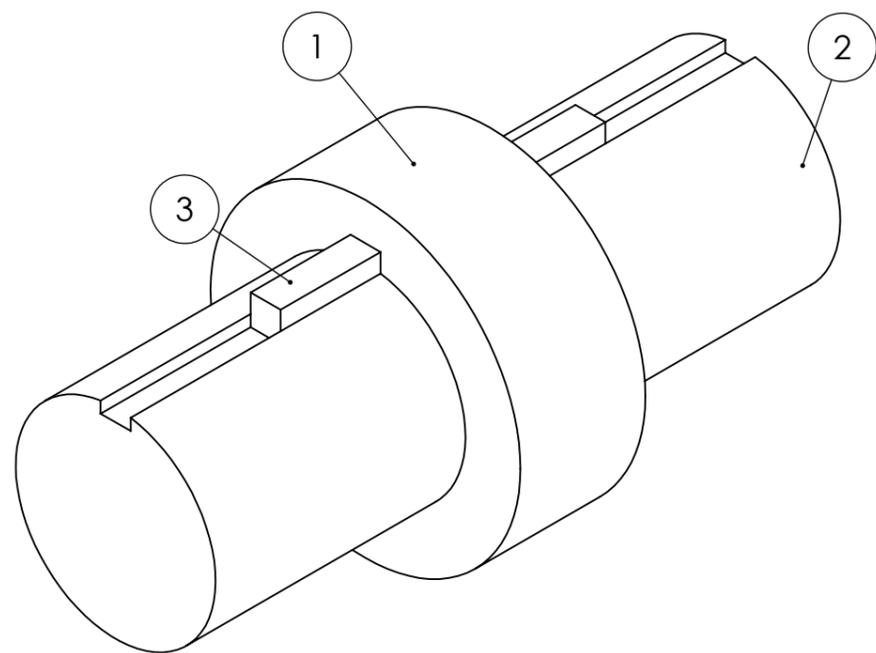


UNMdP FI	CONJUNTO BRAZO					Ciurao Daniel Gianetti, Fernando Mutilba, Santiago
	1	Rodillo Dosificador	7	Motor Sist. Distribuidor	13	
N.º DE Plano  3	2	Conjunto Unión Uno	8	Piñon Conductor	14	Tapa Uno
	3	Conjunto Unión Dos	9	Corona Conducida	15	Tapa Dos
	4	Tornillo Sin Fin	10	Separador	16	Cepillo y porta.
	5	Tapa Estructura Sin Fin	11	Rodamiento y Porta.	17	Carcasa Tornillo Sin Fin
	6	Motor Sis. Dosificador	12	Caja entrada fert.		
						ESCALA 1:17  A3

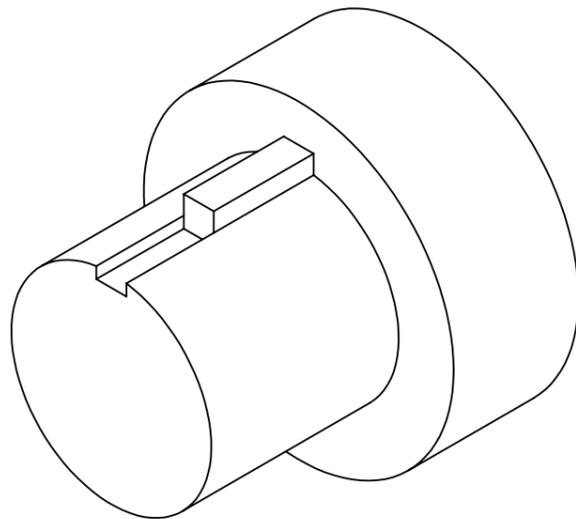


CILINDRO DESARROLLADO

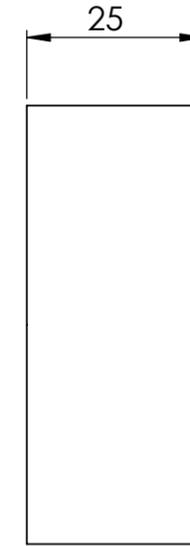
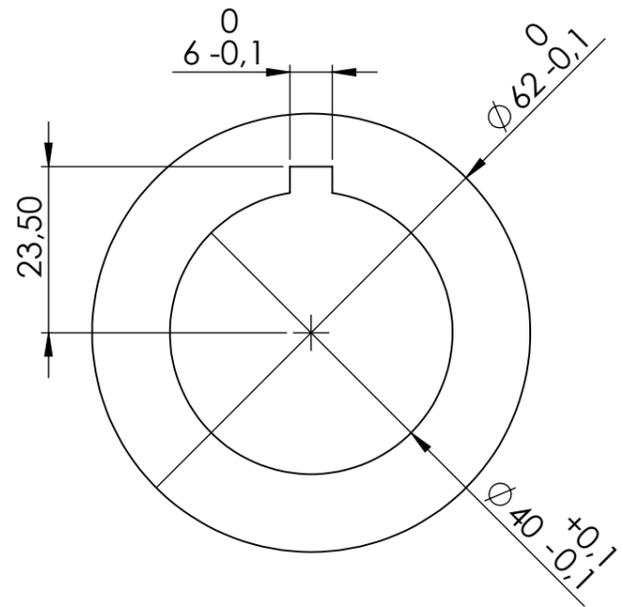
UNMdP FI	Rodillo Dosificador	Ciurao Daniel Gianetti, Fernando Mutilba, Santiago
N.º DE Plano 4	Polipropileno Ø 60-40	ESCALA 1:4 A3



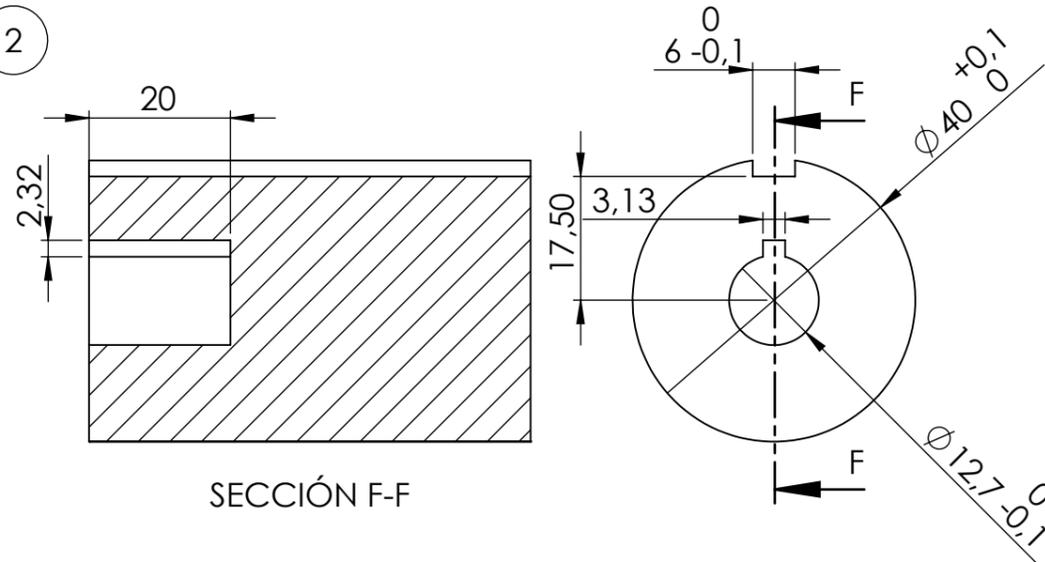
UNMdP FI		CONJUNTO UNION UNO		Ciurao Daniel Gianetti, Fernando Mutilba, Santiago
N.º DE Plano	1	Polipropileno $\phi$ 70-40		ESCALA 1:1 A3
5	2	Polipropileno $\phi$ 60-40		
	3	Acero Cuadrado 6x6		



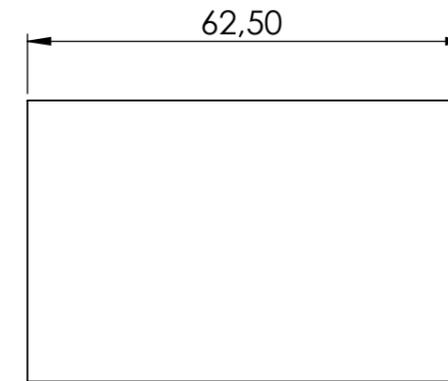
1



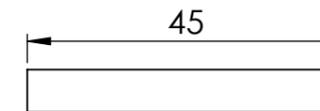
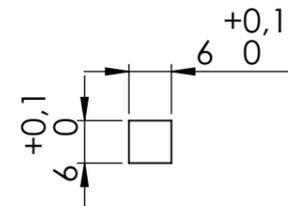
2



SECCIÓN F-F



3



UNMdP  
FI

CONJUNTO UNION DOS

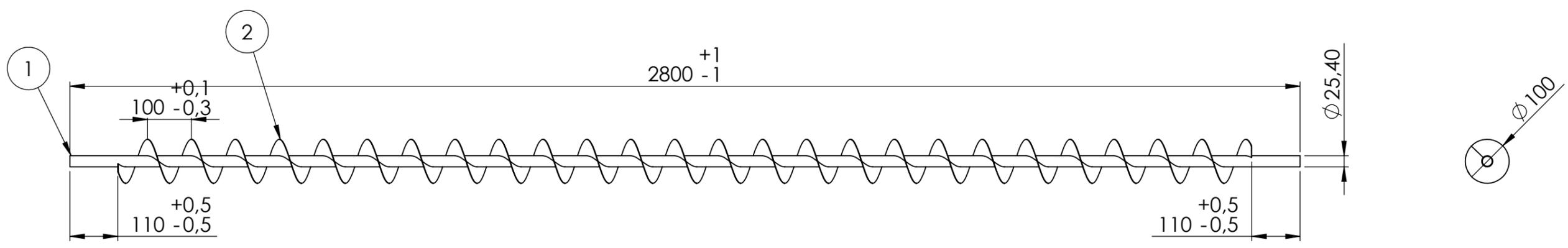
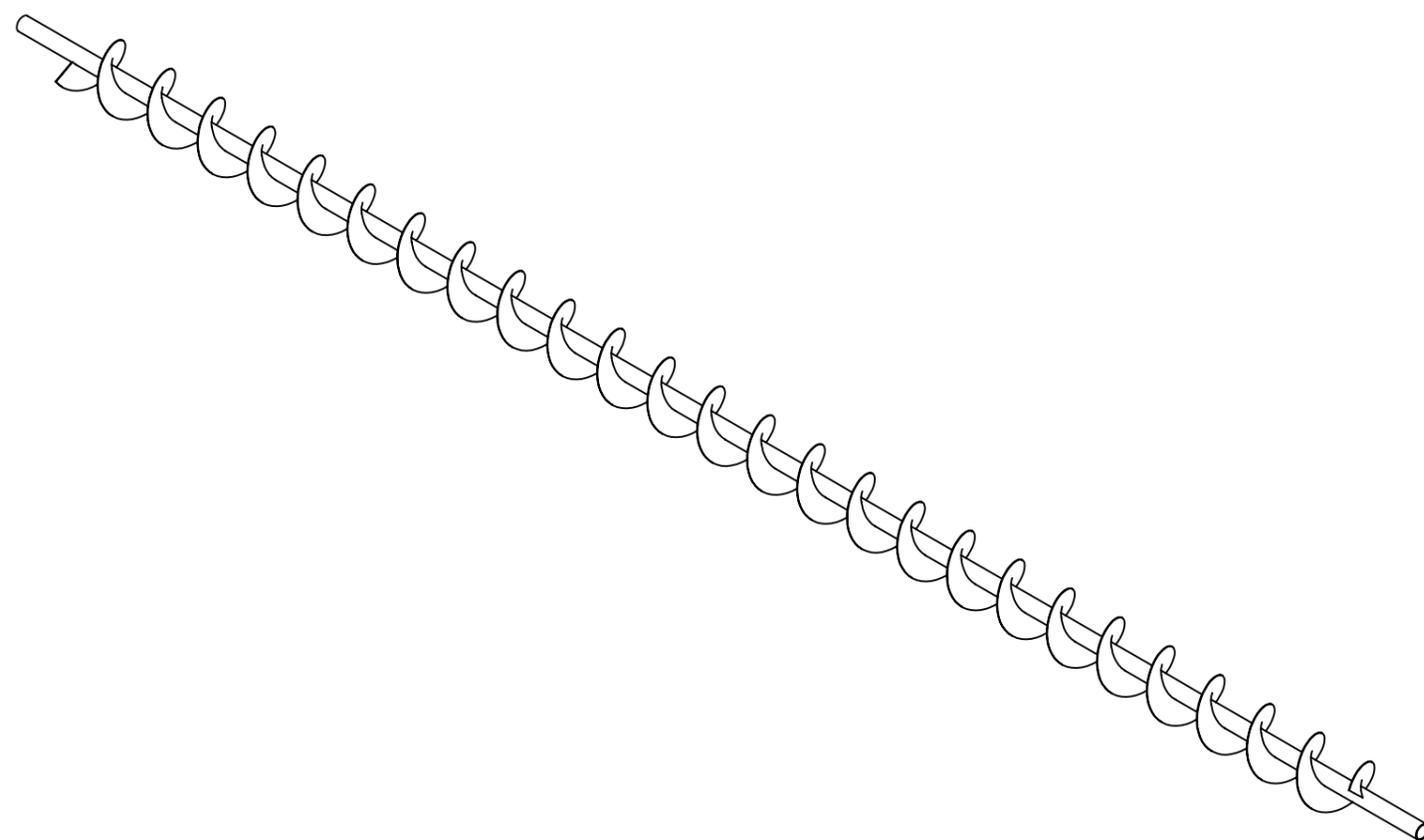
Ciurao Daniel  
Gianetti, Fernando  
Mutilba, Santiago

N.º DE Plano

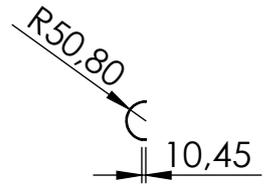
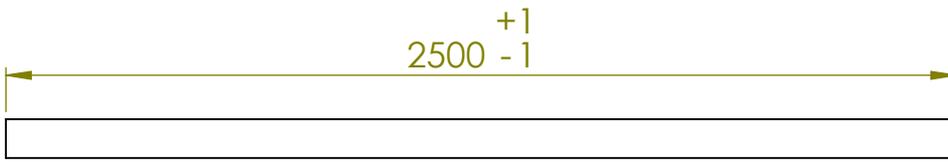
6

1	Polipropileno $\varnothing$ 70-40
2	Polipropileno $\varnothing$ 60-40
3	Acero Cuadrado 6x6

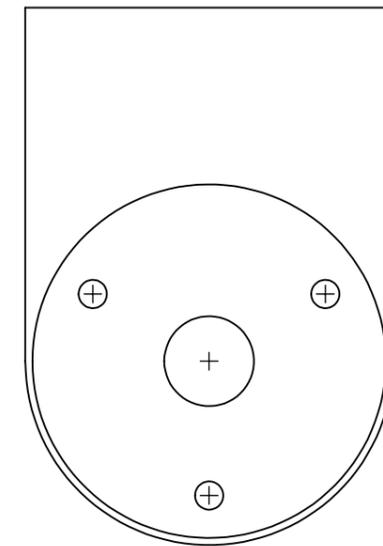
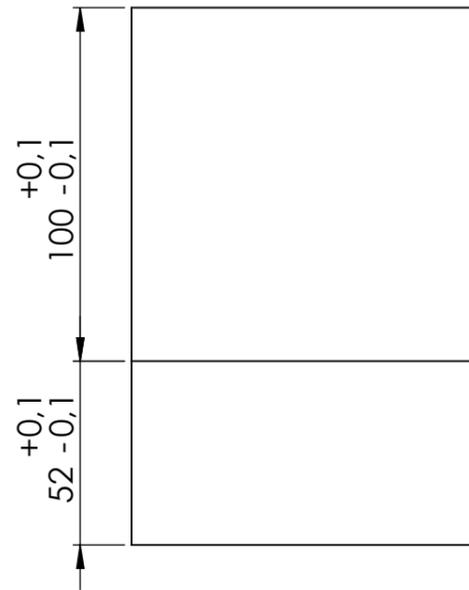
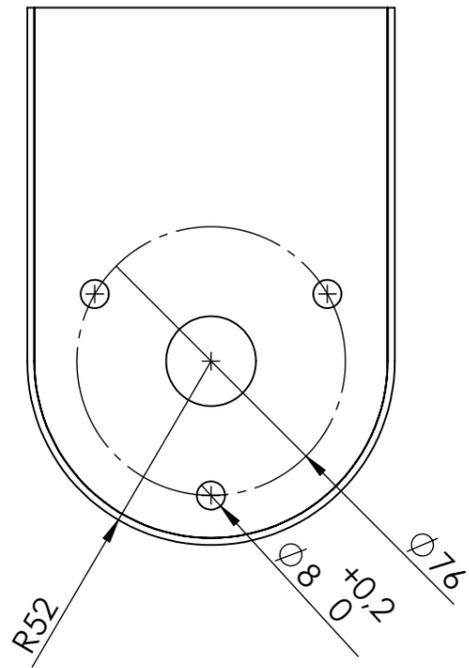
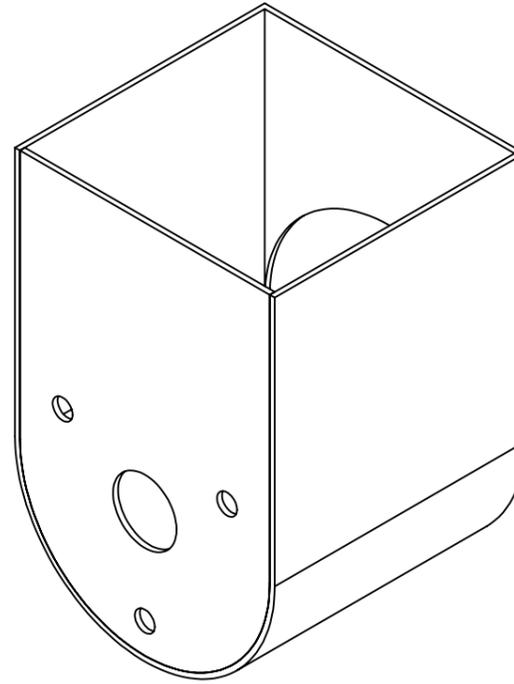
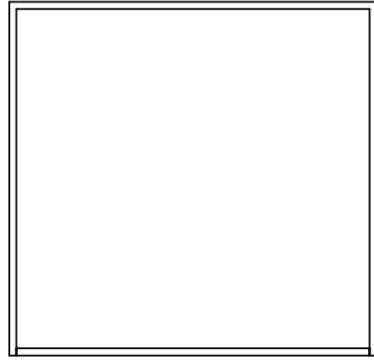
ESCALA: 1:1  
A3



UNMdP FI	TORNILLO SIN FIN		Ciurao Daniel Gianetti, Fernando Mutilba, Santiago
N.º DE Plano <b>7</b>	1	Acero $\phi$ 25.4 (1") esp 2	ESCALA 1:10
	2	Acero 1.5mm	A3

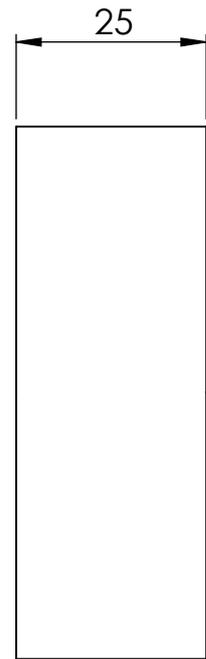
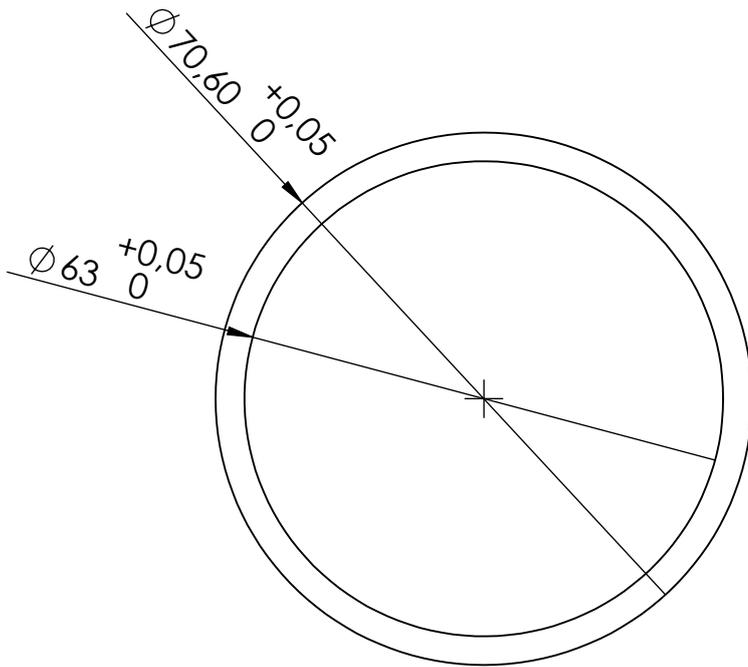


UNMdP FI	TAPA ESTRUCTURA SIN FIN	Ciurao Daniel Gianetti, Fernando Mutilba, Santiago
N.º DE Plano 8	Acero $\varnothing$ 101.6 (4") esp 1	ESCALA 1:20 A4



Tolerancia del resto de las cotas:  $\pm 0,5$

UNMdP FI	CAJA ENTRADA DE FERT.	Ciurao Daniel Gianetti, Fernando Mutilba, Santiago
N.º DE Plano 9	Acero 2mm	ESCALA 1:2 A3



UNMdP  
FI

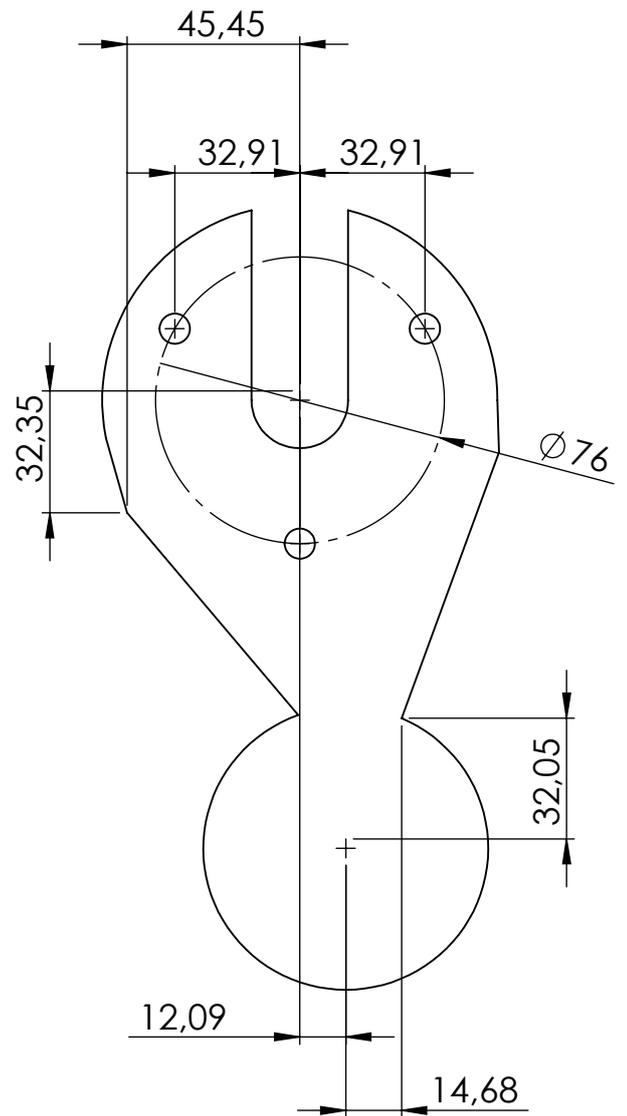
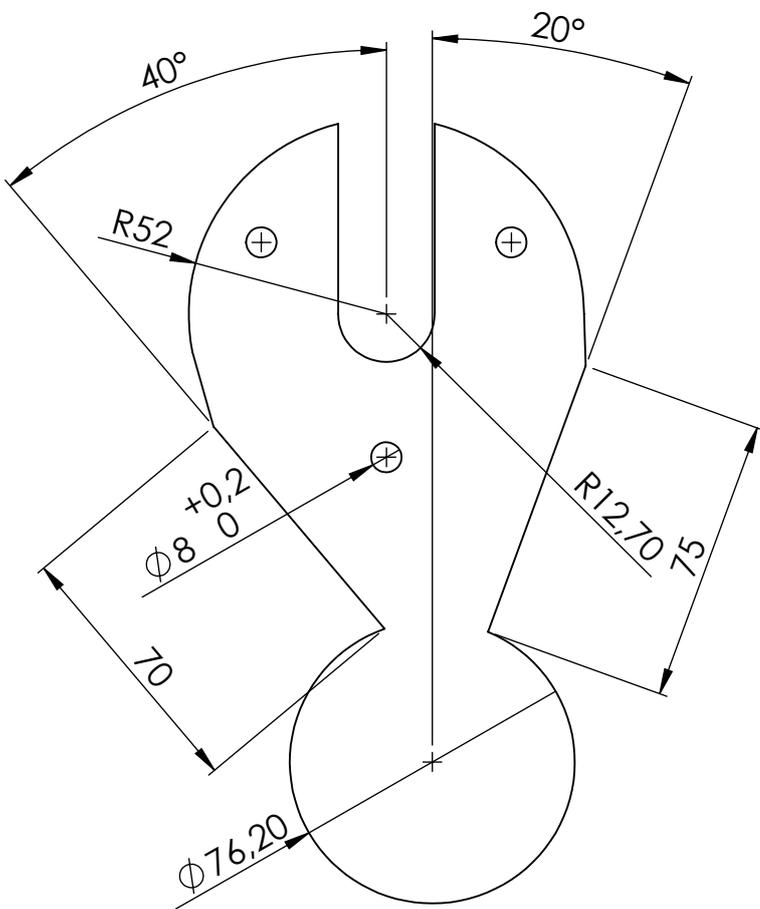
BUJE

Ciurao Daniel  
Gianetti, Fernando  
Mutilba, Santiago

N.º DE Plano 10

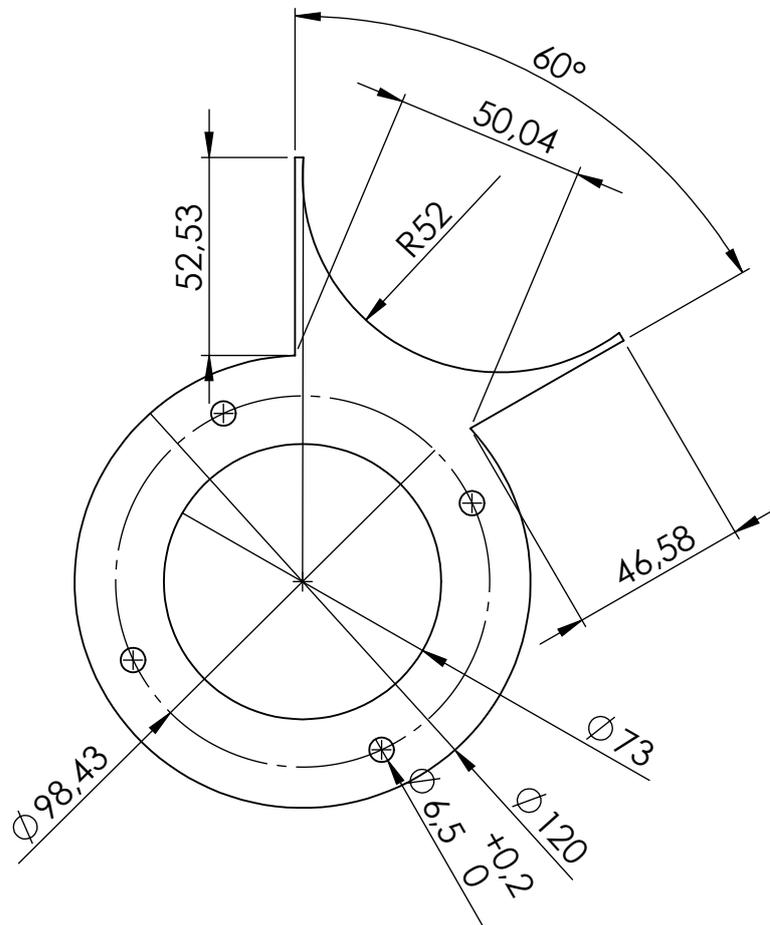
Bronce SAE65  $\varnothing$  75-60

ESCALA: 1:1 A4



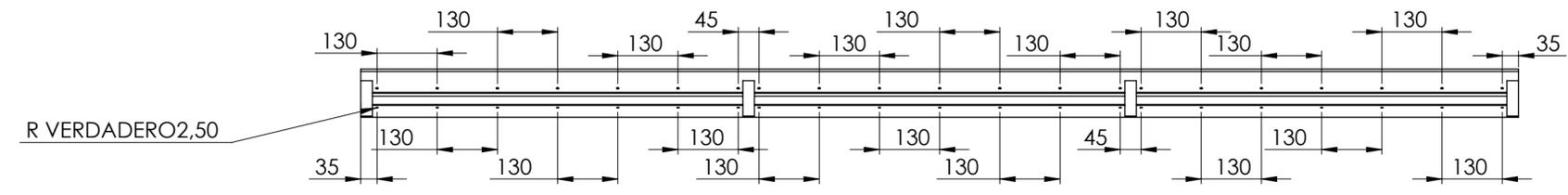
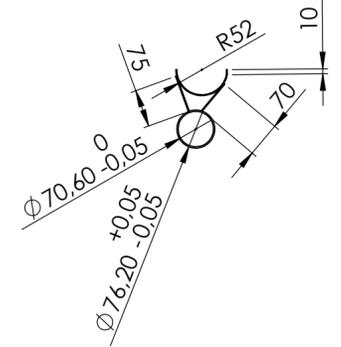
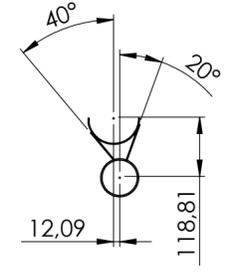
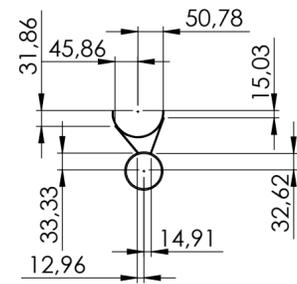
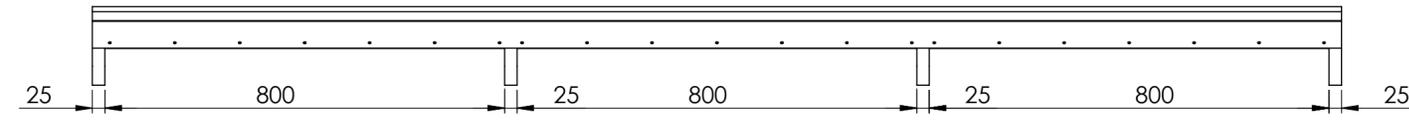
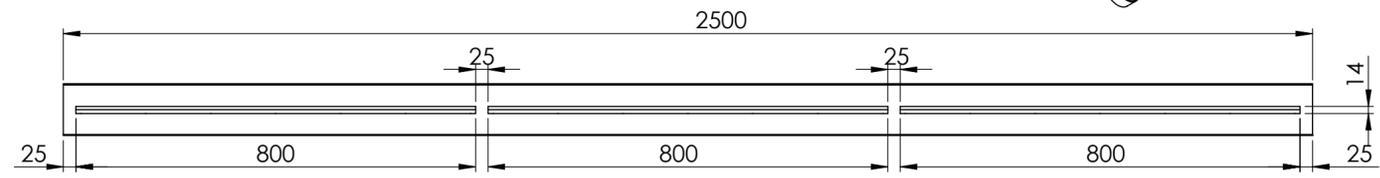
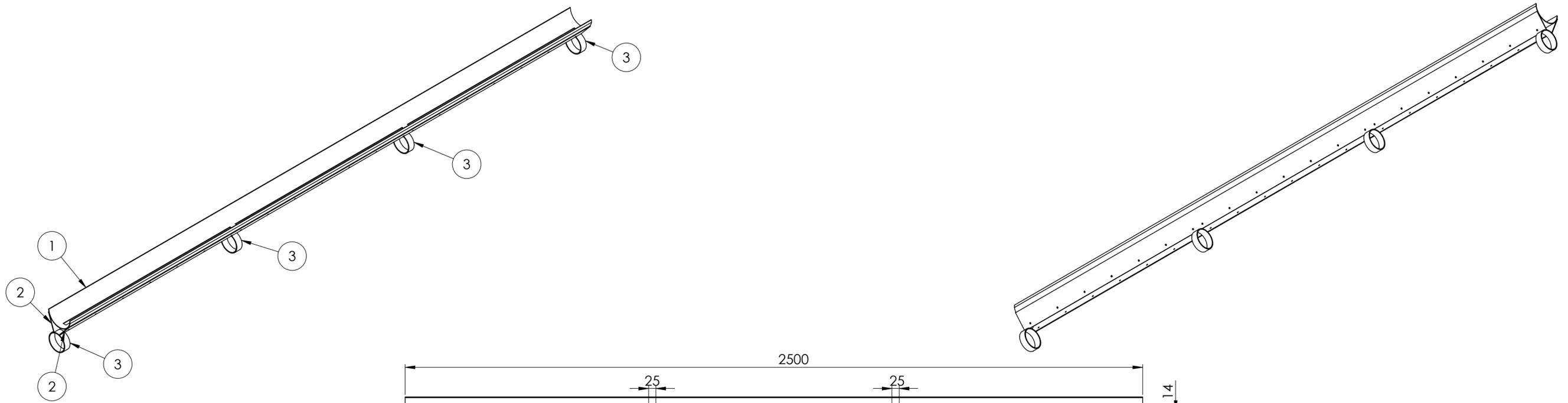
Tolerancia del resto de las cotas:  $\pm 0,5$

UNMdP FI	TAPA UNO	Ciurao Daniel Gianetti, Fernando Mutilba, Santiago
N.º DE Plano 11	Acero 2mm	ESCALA 1:2 A4



Tolerancia del resto de las cotas:  $\pm 0,5$

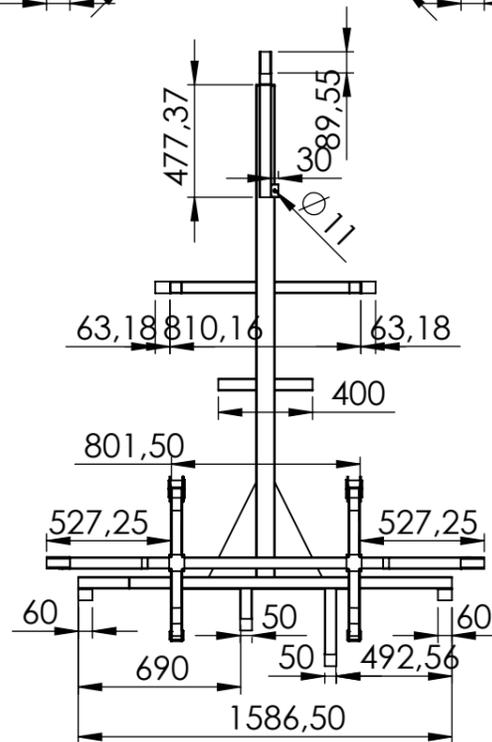
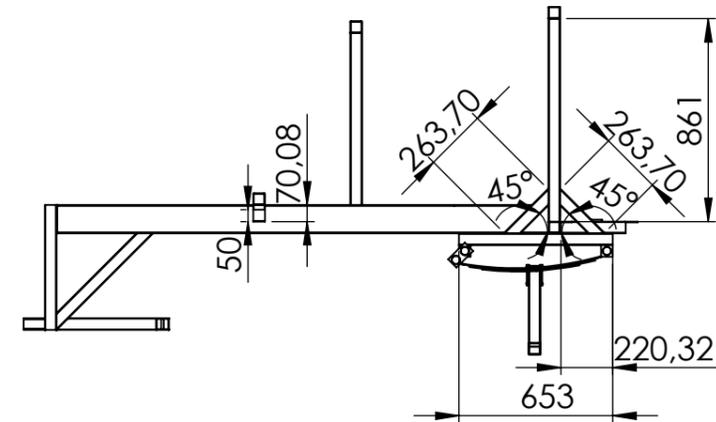
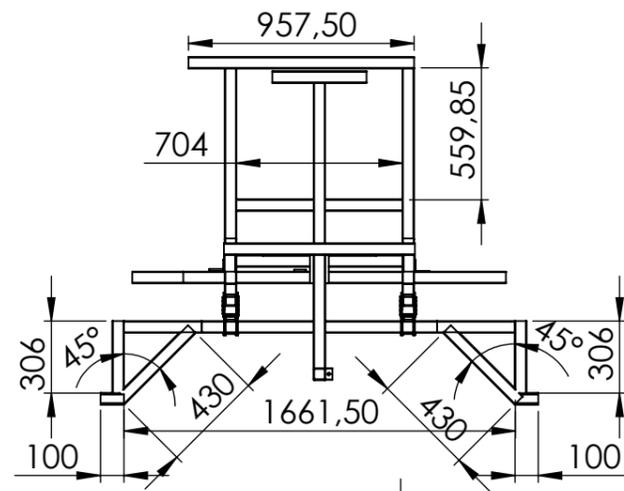
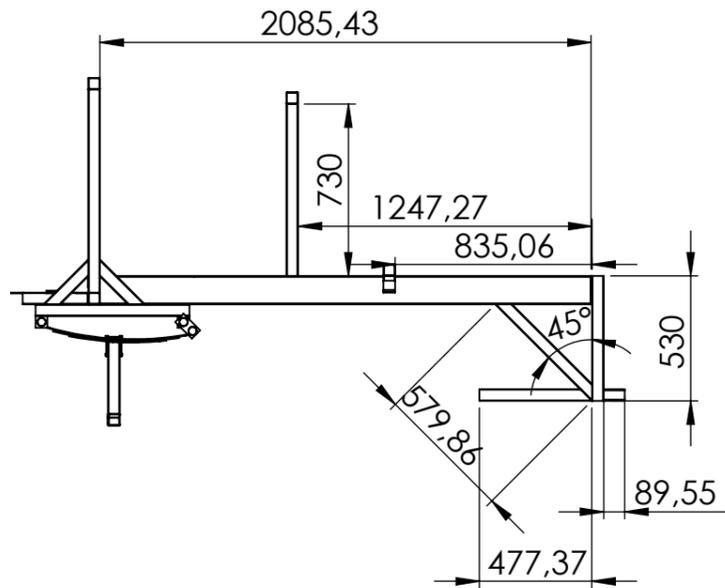
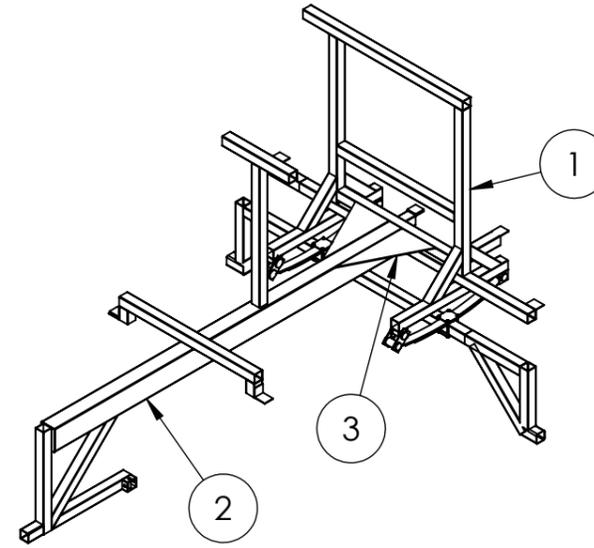
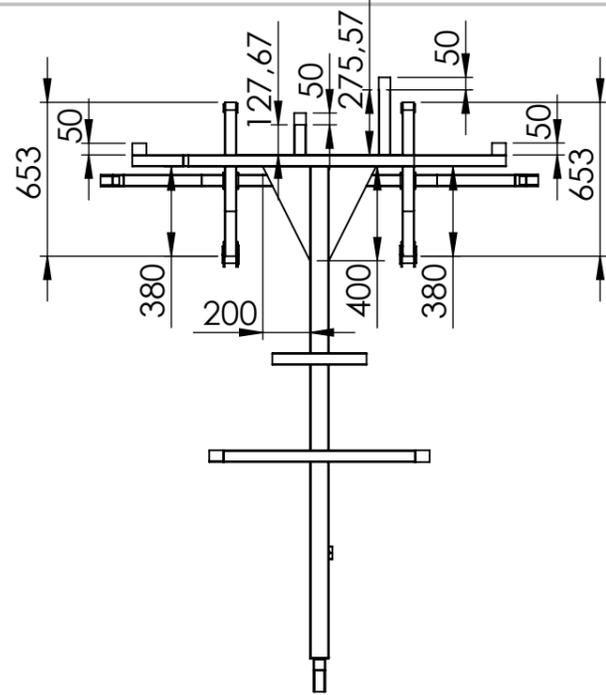
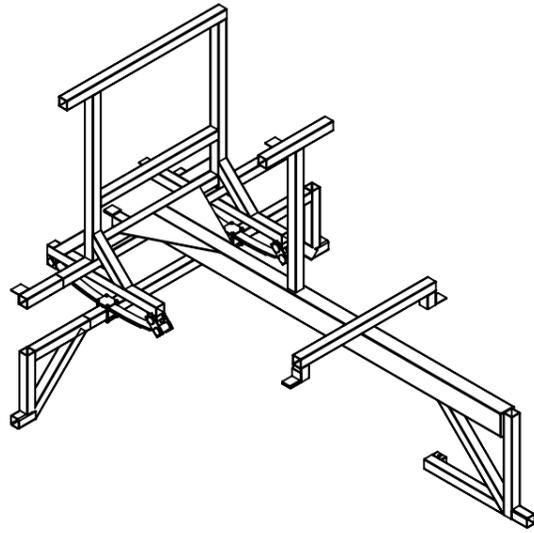
<p>UNMdP FI</p>	<p>TAPA DOS</p>	<p>Ciurao Daniel Gianetti, Fernando Mutilba, Santiago</p>
<p>N.º DE Plano 12</p>	<p>Acero 2mm</p>	<p>ESCALA 1:2 A4</p>



R VERDADERO 2,50

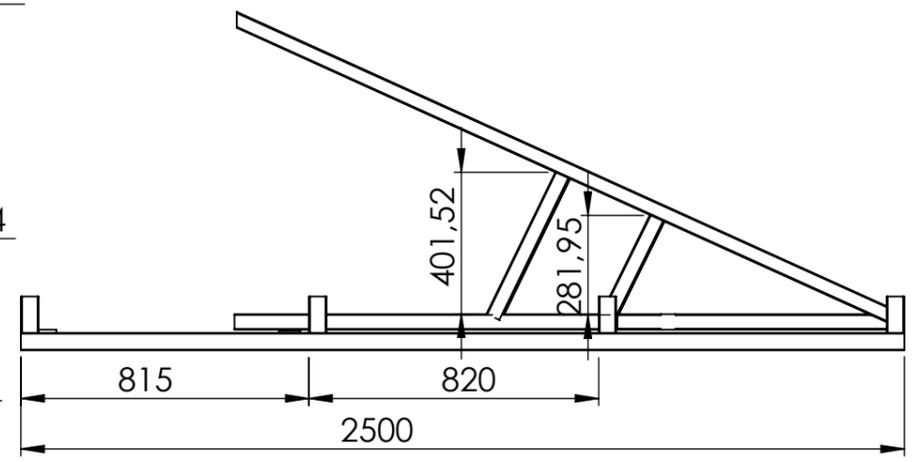
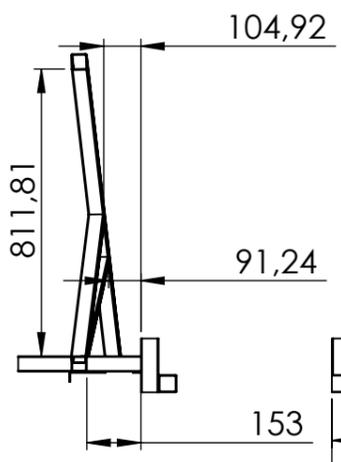
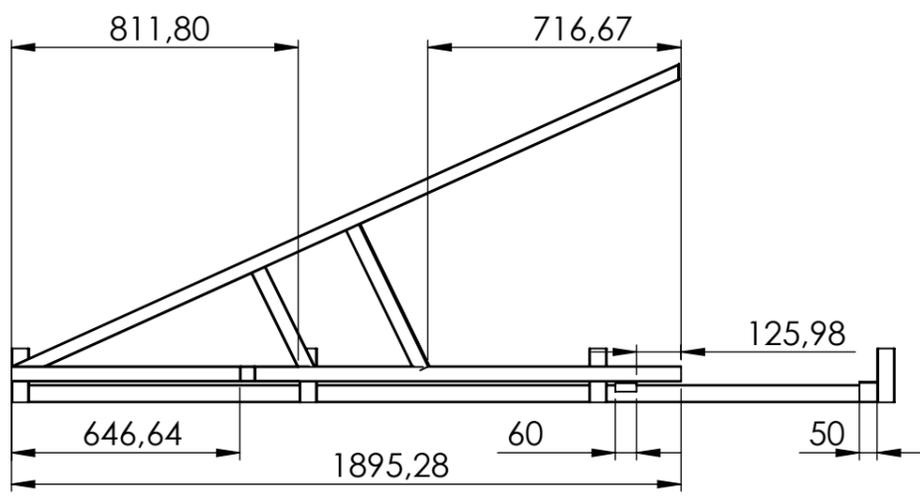
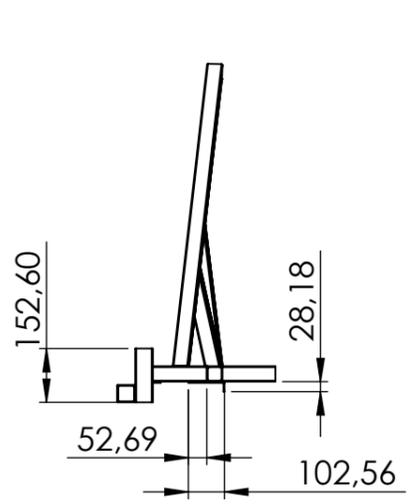
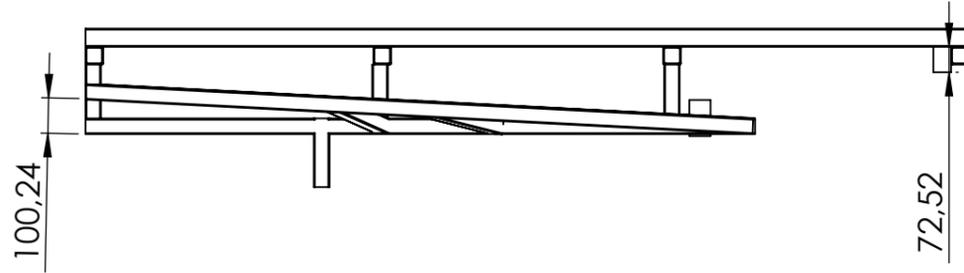
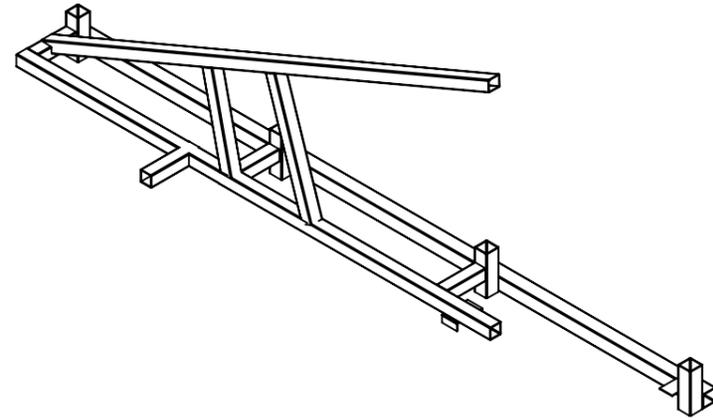
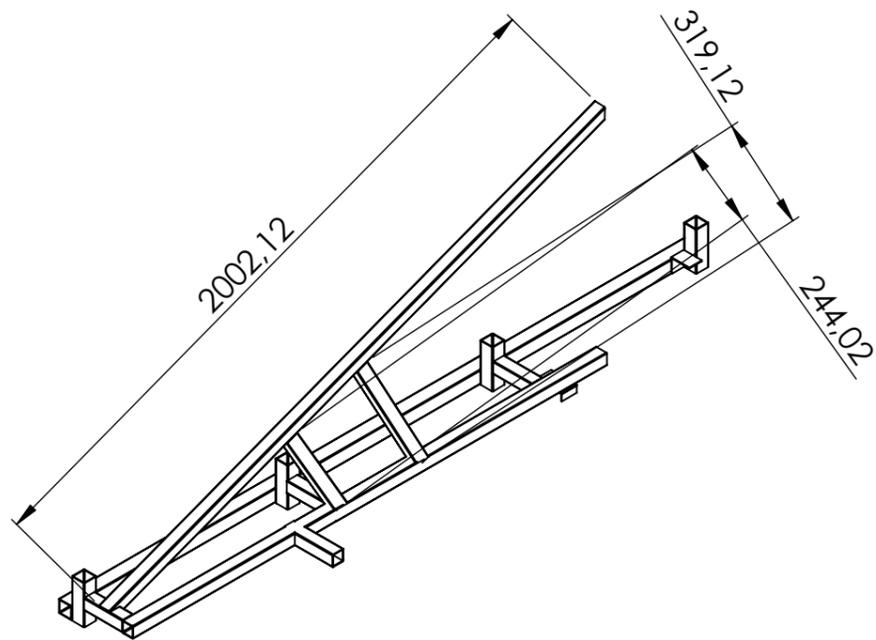
Tolerancia del resto de las cotas: +/- 0,5

UNMdP FI		CARCASA TORNILLO SIN FIN		Ciurao Daniel Gianetti, Fernando Mutilba, Santiago
N.º DE Plano	1	Acero $\phi$ 101.6 (4") esp 1	ESCALA 1:10	
13	2	Acero 2mm		
	3	Acero $\phi$ 76.2 (3") esp 3	A2	



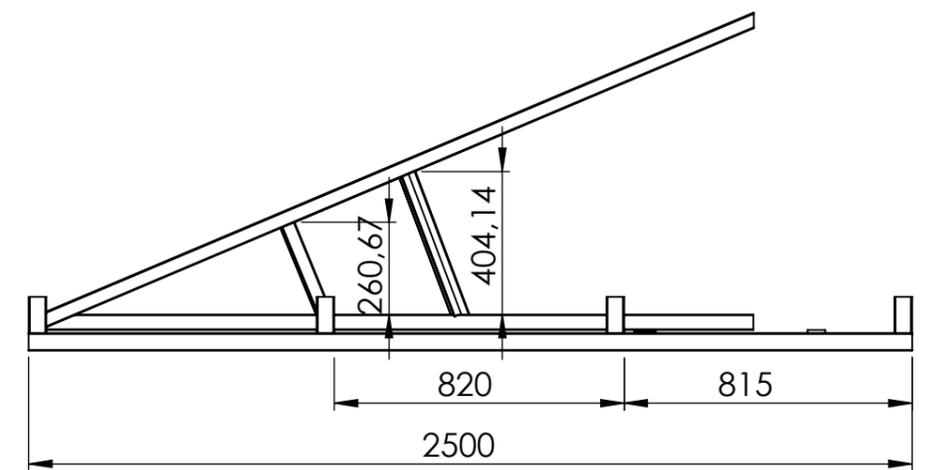
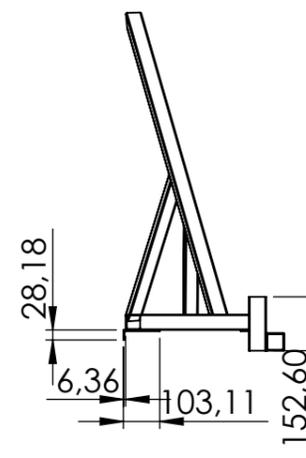
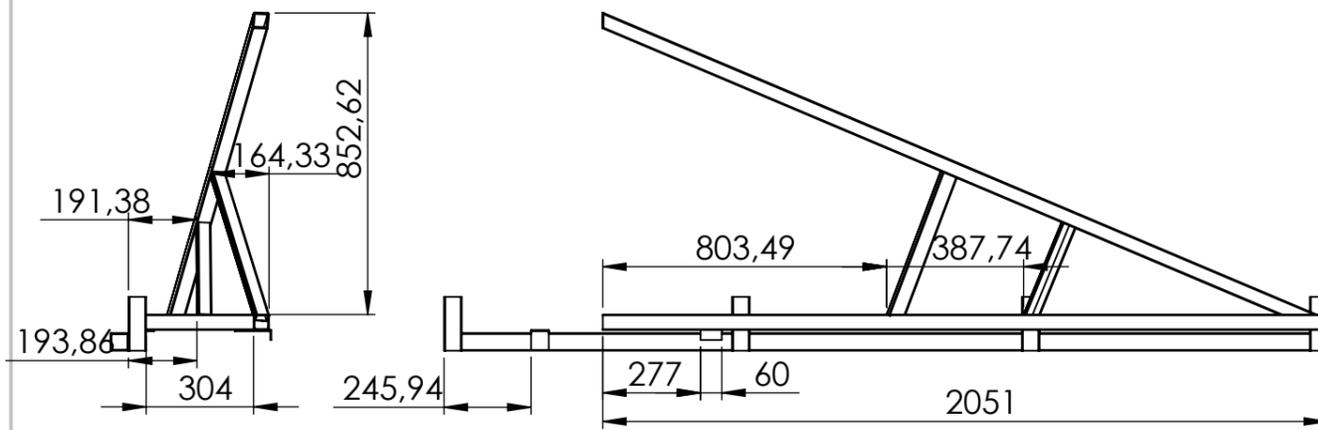
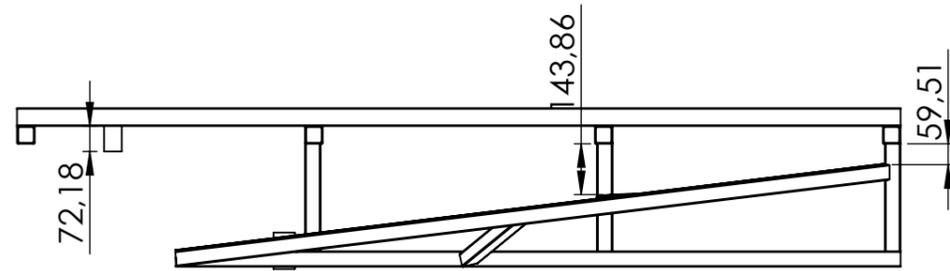
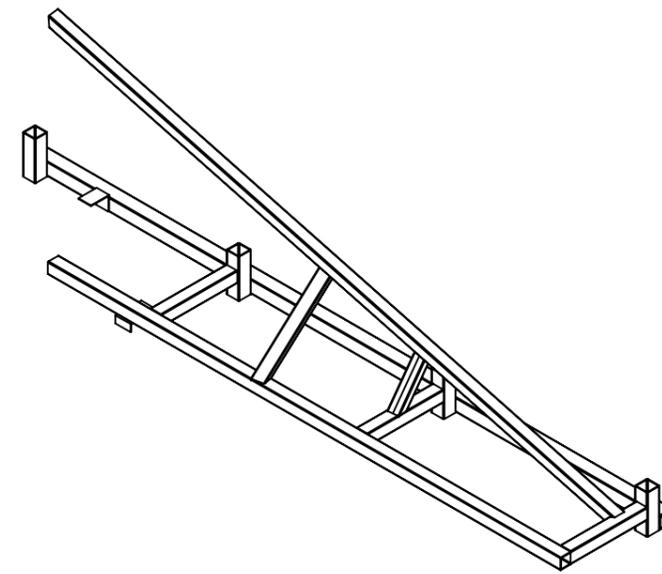
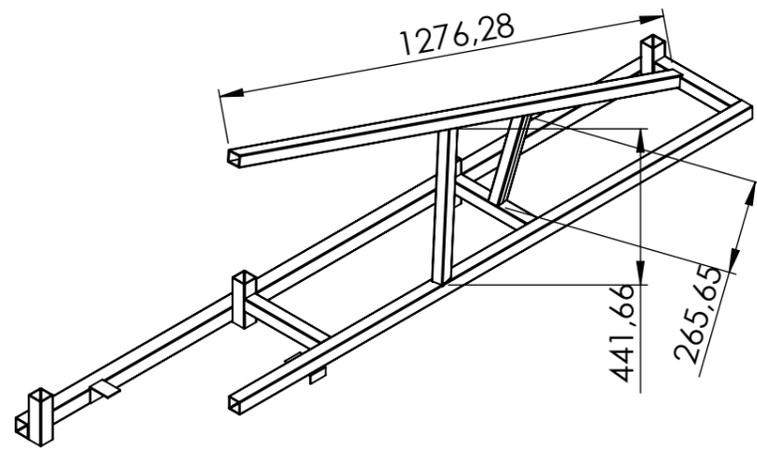
Tolerancia: +- 1

UNMdP FI N.º DE Plano <b>14</b>	CHASIS		Ciurao Daniel Gianetti, Fernando Mutilba, Santiago  ESCALA 1:30 A3
	1	Perfil 50x50x3mm	
	2	Perfil 120x80x4mm	
	3	Acero 4mm	



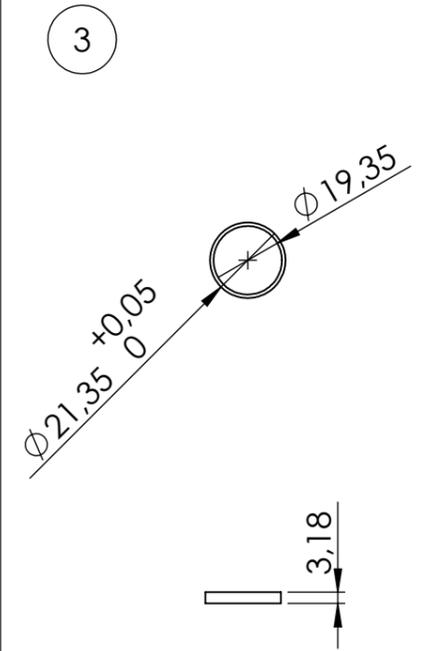
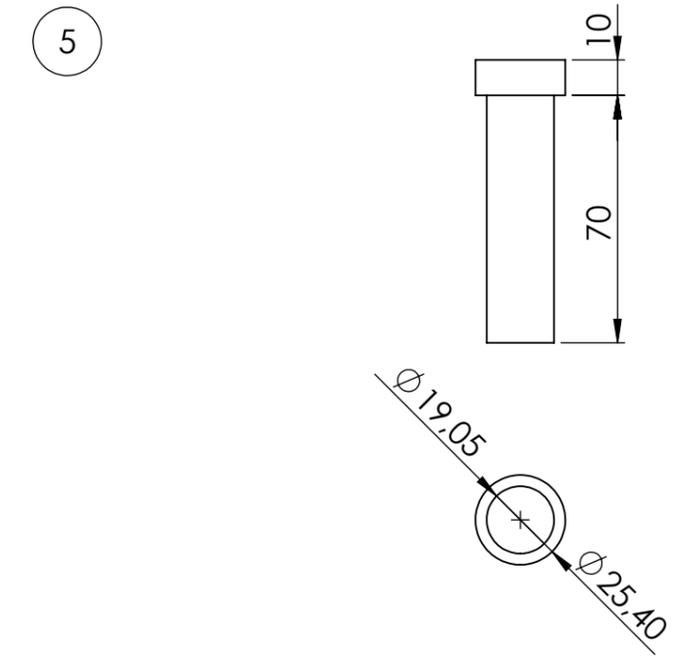
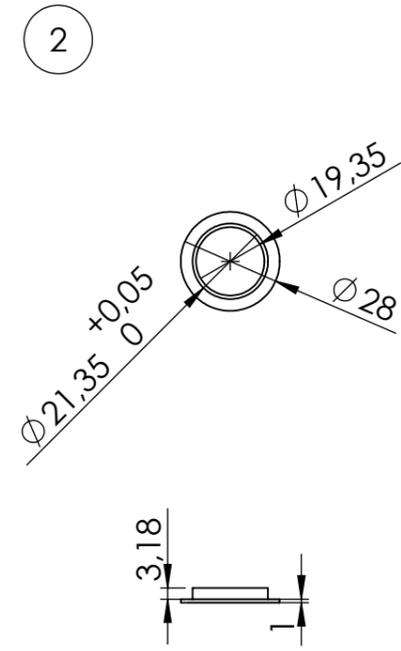
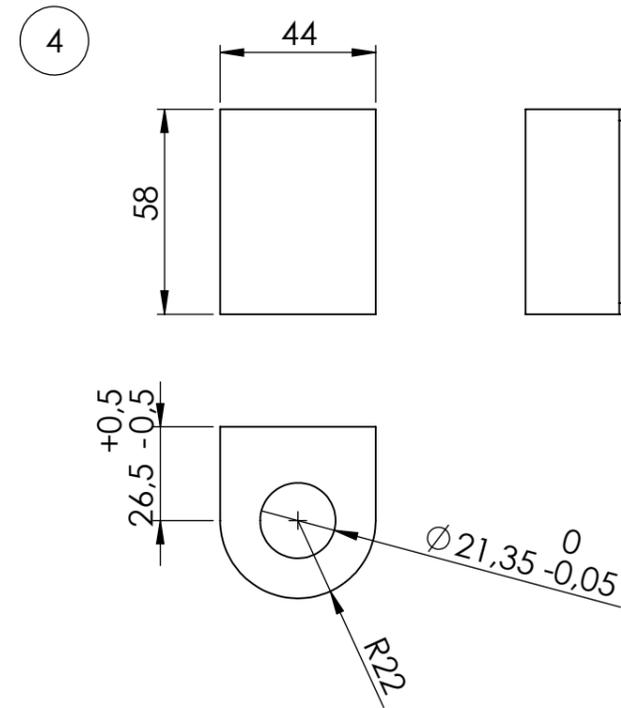
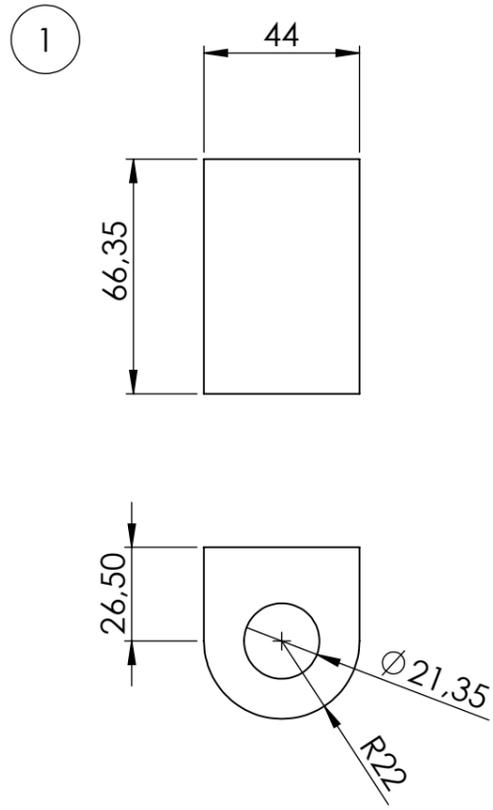
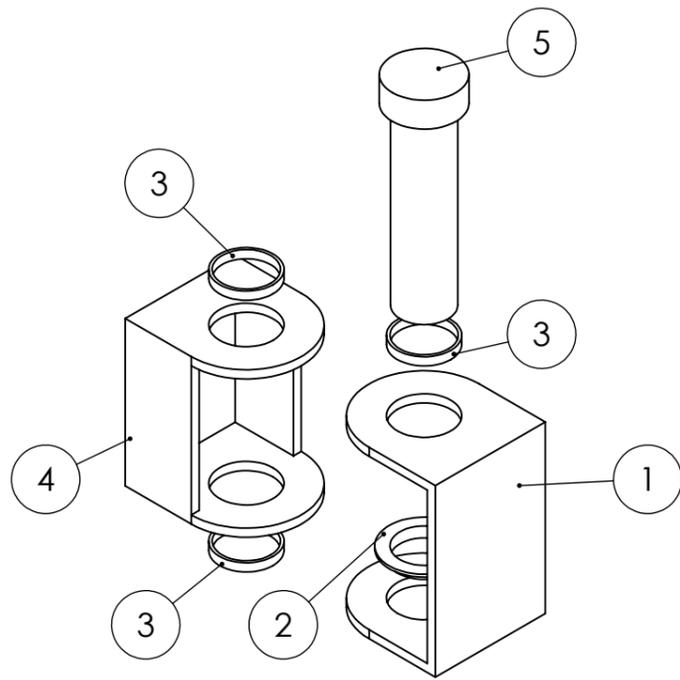
Tolerancia: +-1

UNMdP FI	ESTRUCTURA DERECHA	Ciurao Daniel Gianetti, Fernando Mutilba, Santiago
N.º DE Plano 15	Perfil 50x50x3mm	ESCALA 1:20 A3



Tolerancia: +-1

UNMdP FI	ESTRUCTURA IZQUIERDA	Ciurao Daniel Gianetti, Fernando Mutilba, Santiago
N.º DE Plano 16	Perfil 50x50x3mm	ESCALA 1:20 A3



Tolerancia del resto de las cotas: +/- 0,5

UNMdP  
FI

N.º DE Plano

17

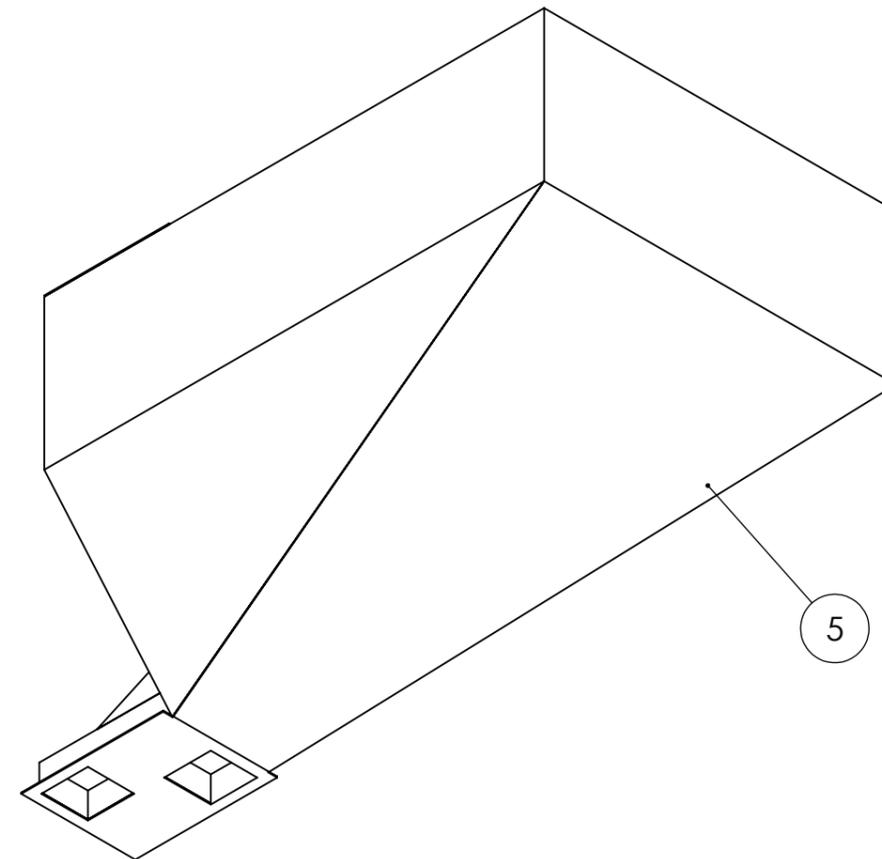
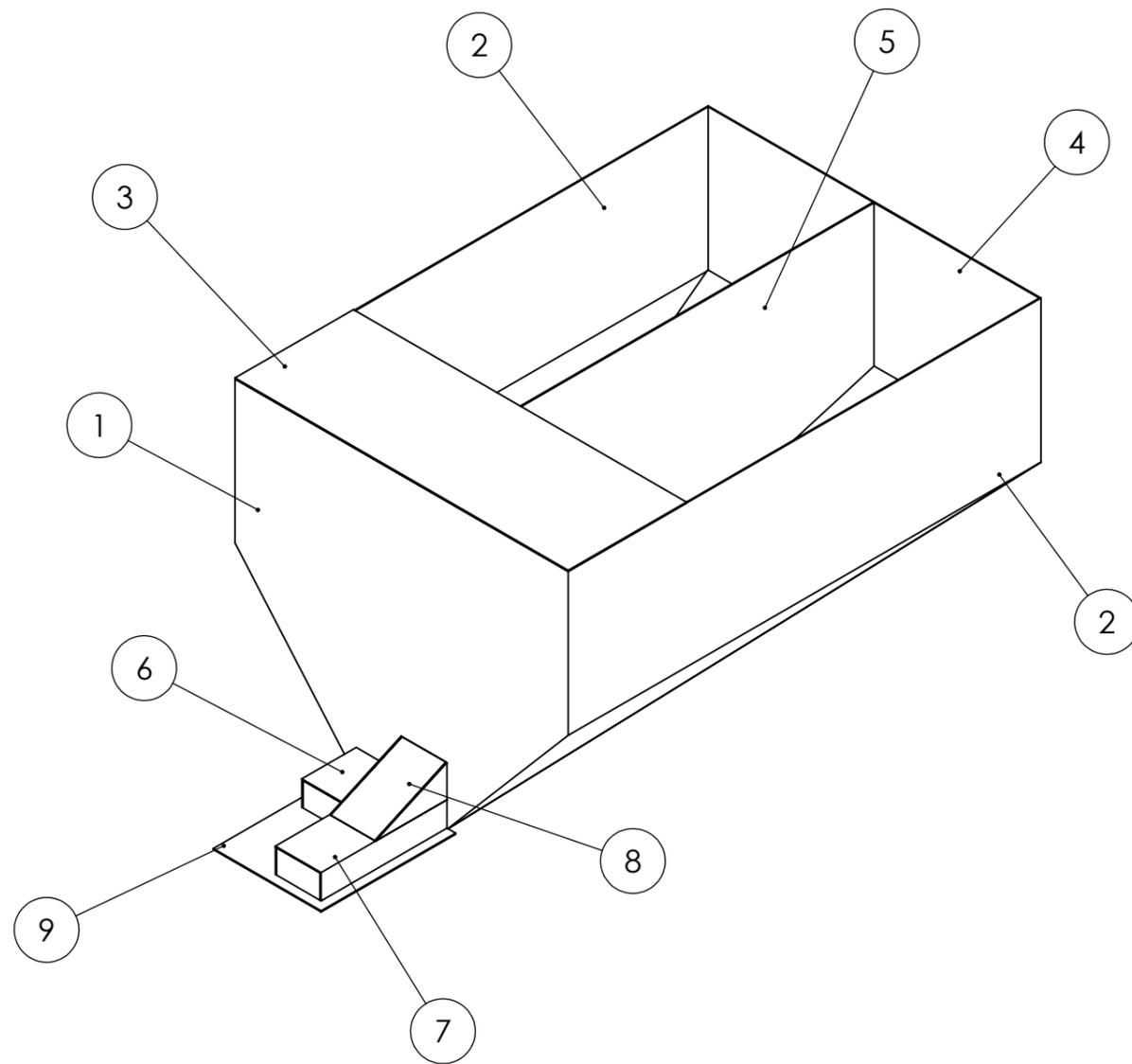
## CONJUNTO PERNO

1	Acero 1/8" (3,16mm)	4	Acero 1/8" (3,16mm)
2	Bronce SAE 65 $\varnothing$ 28-18	5	Acero $\varnothing$ 1" (25.4mm)
3	Bronce SAE 65 $\varnothing$ 22-18		

Ciurao Daniel  
Gianetti, Fernando  
Mutilba, Santiago

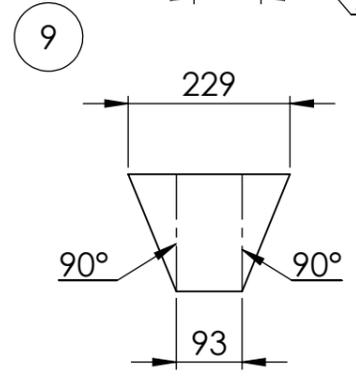
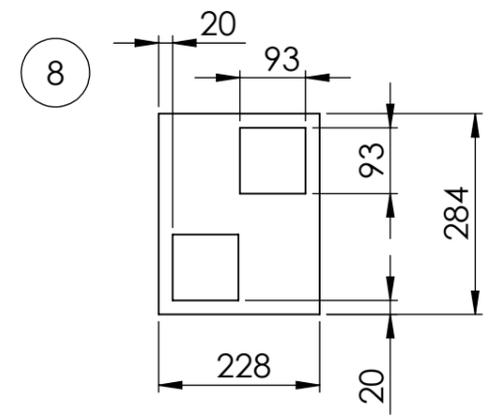
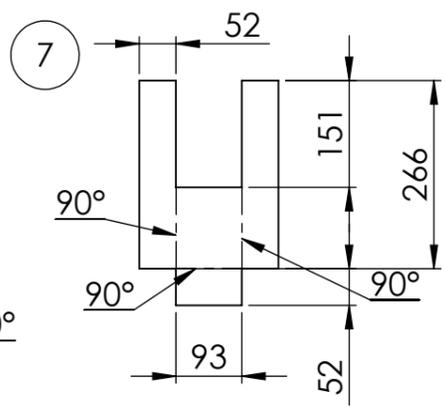
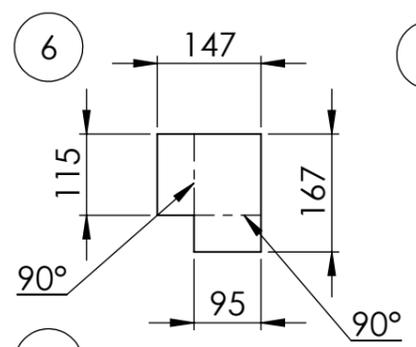
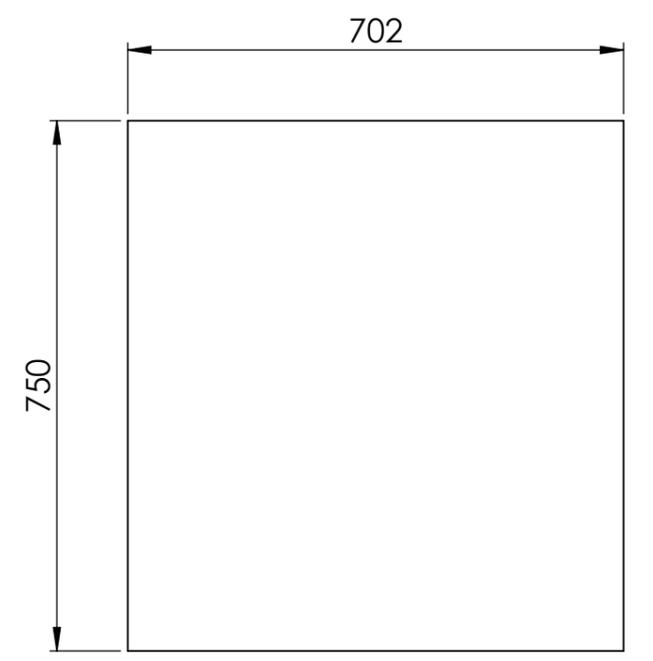
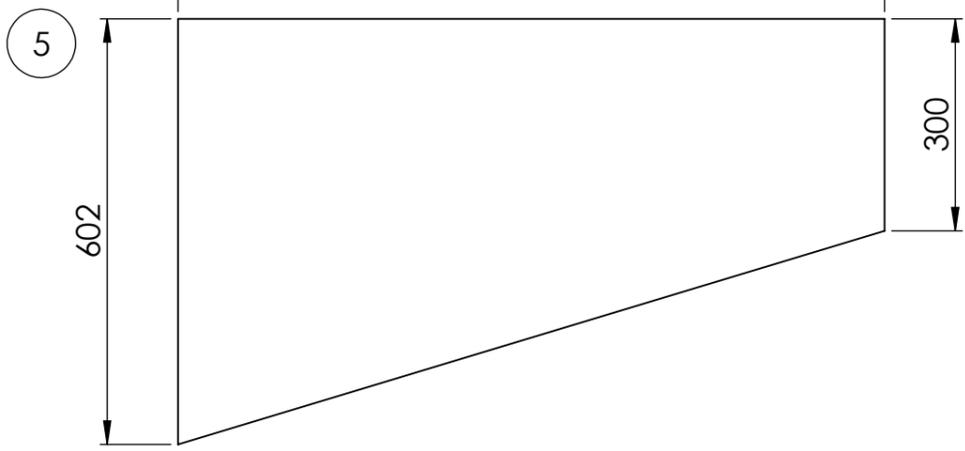
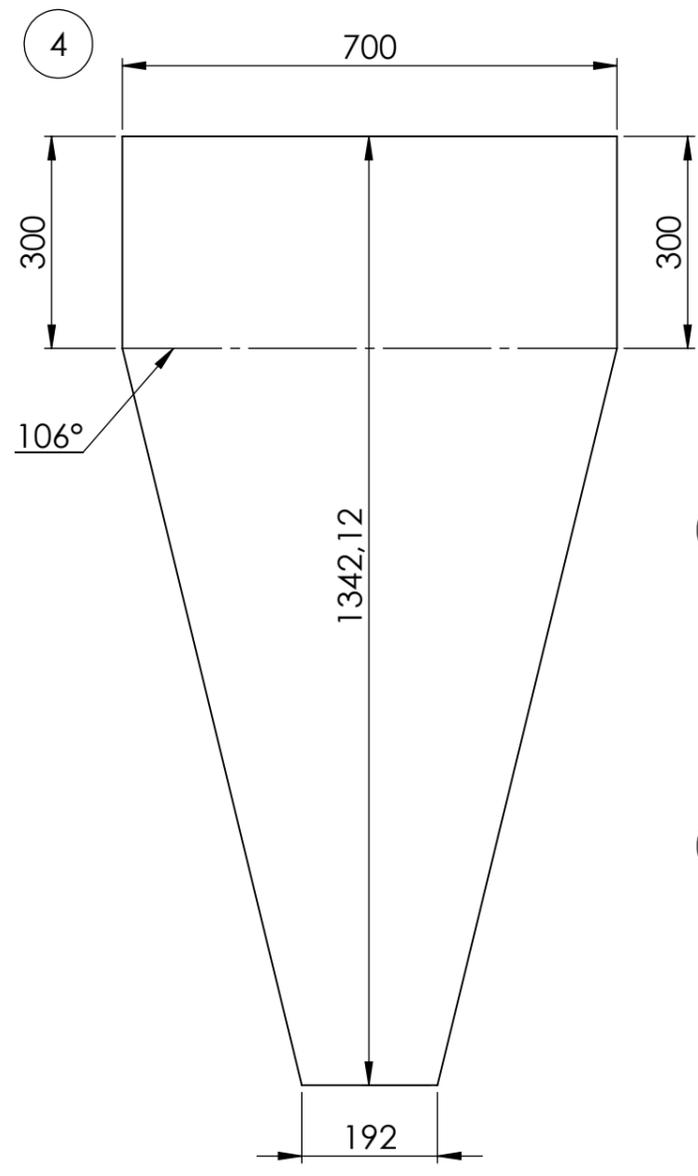
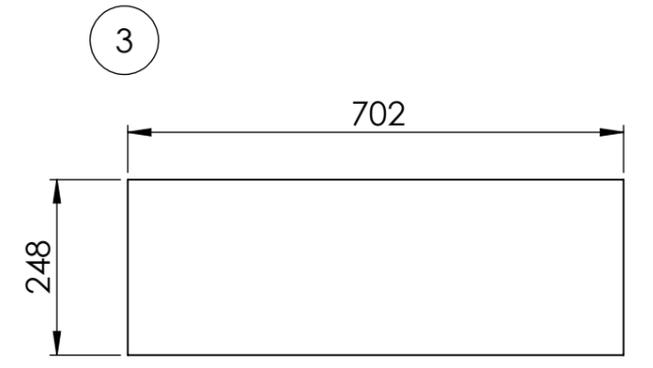
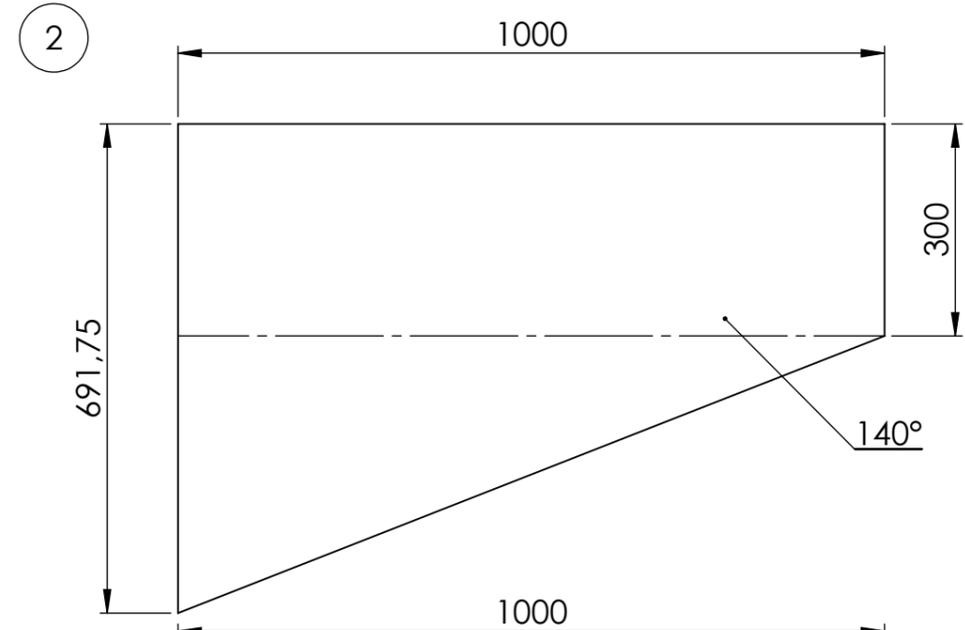
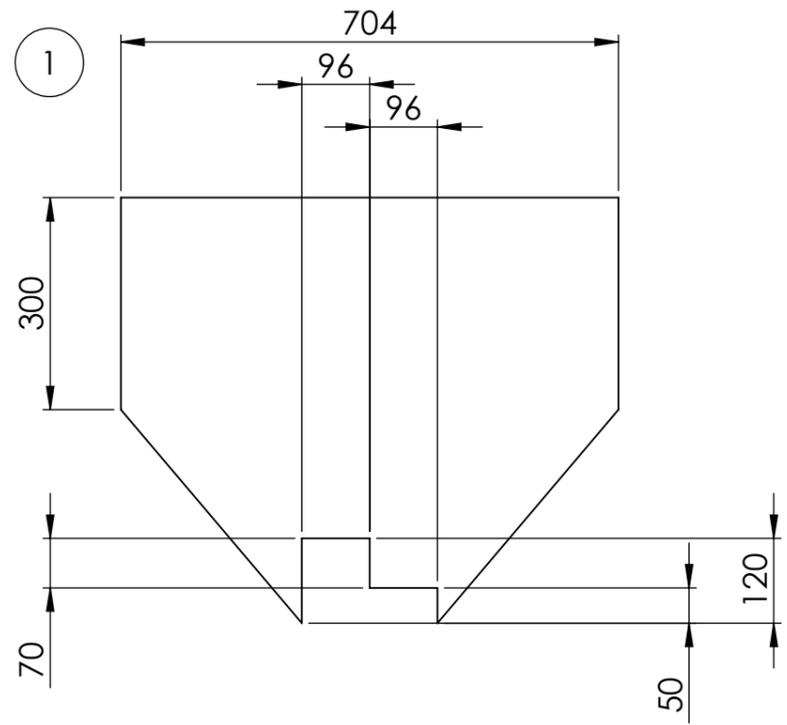
ESCALA: 1:2

A3



UNMdP FI	TOLVA	Ciurao Daniel Gianetti, Fernando Mutilba, Santiago
N.º DE Plano 18	Acero 2mm	ESCALA 1:10 A3

Todos los plegados se realizan hacia el mismo lado



TAPA

Tolerancia: +/- 0,5

UNMdP FI	TOLVA	Ciuraó Daniel Gianetti, Fernando Mutilba, Santiago
N.º DE Plano 19	Acero 2mm	ESCALA 1:10 A3