

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

**SEBRADORA DE QUINUA SEMIAUTOMÁTICA CON
APLICACIÓN EN LA COSTA PERUANA**

Tesis para optar el Título de **Ingeniera Mecatrónica**, que presenta el bachiller:

ELIZABETH MARGARET CENTURION CANCINO

ASESOR: Elizabeth Villota Cerna

Lima, Abril de 2015

Resumen

Este trabajo presenta una propuesta para el desarrollo de una sembradora semiautónoma que ayude en la tarea de sembrar semillas de quinua en la costa del Perú, donde el método de siembra sea por cama y se utilice riego por goteo. La necesidad del desarrollo de una sembradora de este tipo nació por la exigencia de obtener productos de mayor calidad (tamaño uniforme, evitar plagas, etc). Actualmente se utilizan sembradoras mecánicas, las cuales dependen mucho de las condiciones a las que las maneja el hombre, quien determina la velocidad a la que se desplaza por el campo de siembra y la cantidad de semillas que éstas esparcen; lo cual no las hacen tan eficientes porque no generan una siembra uniforme, incrementando así la labor de deshierbo, evitando un correcto crecimiento de la semilla y producción de ésta, evitando el uso eficiente del tiempo tanto en la etapa de sembrío como el la de cosecha. Con el sistema mecatrónico planteado se obtendrá una dosificación de semilla uniforme y profundidad uniforme, evitando así perder mucho tiempo en la etapa de deshierbo, agilizando la tarea de siembra pero sobre todo se mejorará la cantidad de kilos obtenidos de quinua en la cosecha.

En el capítulo 1 se presenta la problemática que existe al no poder cubrir la creciente demanda de quinua tanto interna como externa, causada por el reconocimiento a nivel mundial del valor nutricional de este producto; por ende la necesidad de obtener mayor cantidad de semillas por hectárea y agilizar el proceso de siembra. Además se menciona la importancia de tener uniformidad de siembra, para obtener semillas de calidad y volver más eficiente el proceso de cosecha. En el capítulo 2 se presentan las condiciones en las que se aplicará el sistema mecatrónico y los requerimientos que el sistema planteado deberá ser capaz de satisfacer. En el capítulo 3, se detallan los componentes electrónicos (sensores y actuadores) indispensables para el funcionamiento del sistema planteado, los componentes mecánicos que lo conforman; así como la explicación y detalle de éstos a través de imágenes y planos. También se describe el sistema de control planteado. En el capítulo 4 se detalla el presupuesto que se necesita para construir el prototipo, lo cual incluye el costo de componentes electrónicos, mecánicos y costos de fabricación. En el capítulo 5 se presentan las conclusiones del proyecto realizado.

Adicionalmente, se han incluido anexos, donde se detallan los cálculos de dimensionamiento, para el diseño de elementos mecánicos, y la elección de componentes electrónicos; también son descritas las especificaciones técnicas de los componentes utilizados y se adjuntan los planos completos de despiece y ensamble del sistema propuesto.

Índice

1. Presentación de la problemática.....	4
2. Requerimientos del sistema mecatrónico y presentación del concepto.....	6
2.1 Requerimientos del sistema mecatrónico.....	6
2.2 Concepto del sistema mecatrónico.....	7
3. Sistema mecatrónico.....	9
3.1 Diagrama de funcionamiento del sistema mecatrónico.....	9
3.2 Sensores y actuadores.....	11
3.3 Planos del sistema mecánico.....	18
3.4 Diagramas esquemáticos de los circuitos del sistema mecatrónico.....	36
3.5 Diagramas de flujo del programa de control.....	40
3.5.1 Diagrama de bloques.....	40
3.5.2 Diagrama de flujo.....	40
4. Presupuesto.....	50
4.1 Presupuesto mecánico.....	50
4.2 Presupuesto electrónico.....	51
5. Conclusiones.....	52
Bibliografía.....	53

Capítulo 1

Presentación de la problemática

Nuestro país se caracteriza por tener un alto potencial agrícola gracias a su diversidad de climas y suelos, es por eso que la actividad agrícola se ha caracterizado como una de las actividades económicas más importantes del Perú desde los orígenes de las antiguas civilizaciones hasta el día de hoy. Su crecimiento ha sido permanente con el pasar de los años, siendo la de mayor crecimiento promedio en América Latina en el periodo 2000-2012, alcanzando niveles de 5% [1].

La región de los Andes ha sido un centro de origen y domesticación de varias especies nativas, tolerantes a condiciones marginales, aire seco, déficit hídrico, bajas temperatura pero especialmente poseedoras de alto valor nutritivo, relacionado particularmente con sus proteínas. Dentro de estas especies andinas, están los granos andinos, específicamente la quinua, la cual comparada con otros alimentos de la pirámide alimenticia contiene en gran cantidad aminoácidos esenciales que son: lisina, metionina y triptófano [2]. La quinua por su alto valor alimenticio y nutritivo y su adaptación a diferentes climas y suelos ha generado un alto interés en los agricultores, empresas agroindustriales, instituciones públicas, privadas, nacionales e internacionales. Esto ha traído consigo un incremento en la producción durante los últimos veinte años. Si bien es cierto en los años cuarenta en el Perú ya se producía entre 40 mil y 50 mil toneladas métricas este nivel de producción se vio afectado por incursión en el mercado de productos derivados del trigo, esta situación cambio a partir de 1985, cuando se llegó a sembrar 40 mil hectáreas y por ejemplo en el 2012 se registró un incremento de 39 mil toneladas a 44 mil toneladas en el 2012, ubicando actualmente al Perú como el segundo productor de Quinua en el Mundo [3].

La revaloración de este grano y su identificación como un producto saludable ha generado un crecimiento también de la demanda en el exterior (figura 1.1), las exportaciones de quinua crecieron 85.2%, gracias a ventas en países como Australia (483.9% crecimiento), EEUU donde es considerada como una "supercomida" (160.7%), Canadá (120.7%) y Alemania (61.1%), además de la incursión en nuevos mercados [4].

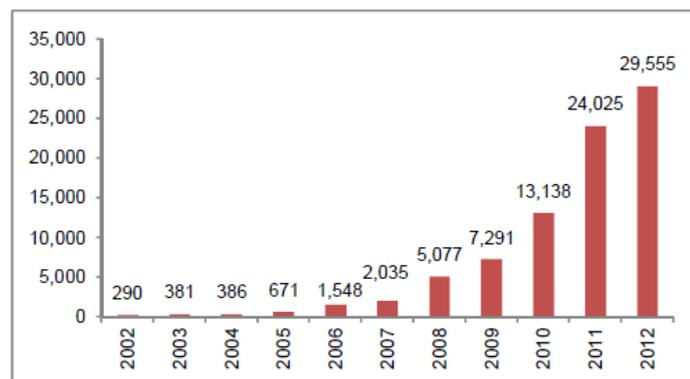


Figura 1.1: Evolución de las exportaciones de quinua (en miles de US\$)

Fuente: [5]

La producción nacional de quinua en el 2012 alcanzó 44.020 t, dándose principalmente en la sierra y costa del país. La región que representa la mayor producción es Puno, llegando a tener el 70% de la producción nacional [5]; sin embargo las áreas de la cultivo de la sierra son insuficientes para cubrir la demanda local, afectada por las exportaciones. Por esto se optó por empezar a sembrar este cereal en la Costa de nuestro país, siendo Arequipa la región donde se ha registrado el mayor crecimiento de producción en los últimos años, en el orden del 60%, además de ser la región en la que se obtiene un mayor rendimiento por hectárea (Figura 1.2).

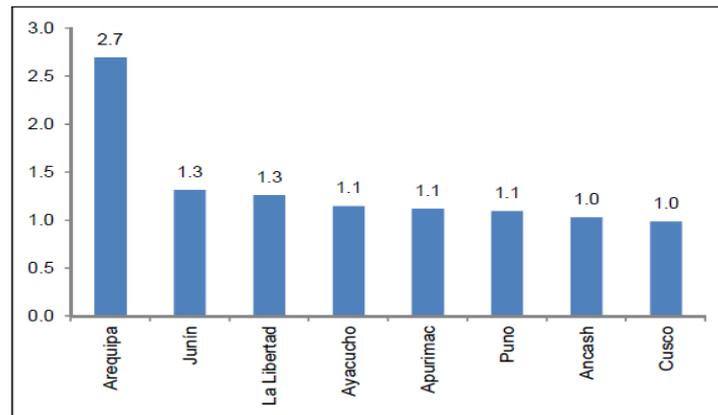


Figura 1.2: Rendimiento promedio de quinua por departamento 2012
Fuente: [5]

A pesar de que las cifras son muy prometedoras, estas no satisfacen la necesidad de exportación ni la de consumo en nuestro país, es por eso que se encuentran altos precios en el mercado. Una forma de mejorar la producción es incrementando la cantidad de kilos obtenidos por hectárea. Citando a la doctora Luz Gómez Pando “Esta forma de aumentar la productividad debe ser desarrollando nuevas variedades y nuevas tecnologías de cultivo. Por lo tanto, se requiere investigación en esos dos factores para lograr incrementar la producción nacional” [6]. Uno de los problemas identificados en el proceso de producción de quinua es en la etapa de siembra, donde la falta de tecnología hace que no se obtenga una profundidad y densidad de siembra adecuada para el tipo de suelo; estos factores importantes deben ser tomados en cuenta para tener un esperado desarrollo de la semilla y evitar plagas y enfermedades [7].

Para poder contribuir con la solución del problema descrito, se plantea usar una máquina semiautónoma para el sembrío de quinua en la costa del Perú. El prototipo diseñado tendrá la función de desplazarse por las camas de los surcos realizados, los cuales estarán ubicados en zonas de cultivo de la costa de nuestro país, donde se aplica riego por goteo, deberá también mantener una profundidad de siembra constante y realizar una adecuada dosificación de semilla, siguiendo el patrón ingresado por el agricultor.

Capítulo 2

Requerimientos del sistema mecatrónico y presentación del concepto

2.1 Requerimientos del sistema mecatrónico

2.1.1 Requerimientos físico – mecánicos

- Se deberá poder regular la profundidad de siembra en un rango de 1 cm a 3 cm.
- La dosificación de semillas deberá ser de chorro continuo.
- El dispositivo deberá contar con una tolva cuya capacidad máxima será 3 kg.
- Se deberá poder regular el flujo de cantidad de semillas a necesidad del agricultor.
- Deberá realizar dos pequeñas hileras de surco a medida que se desplaza por el terreno.
- El material de fabricación de la tolva deberá ser de libre oxidación con el fin de proteger el estado de la semilla.
- El ancho del dispositivo deberá ser menor al máximo de cama de surco, 50 cm.
- La estructura del dispositivo deberá ser lo suficientemente robusta para desplazarse por terrenos con obstáculos, tales como piedras o residuos de maleza.
- Capacidad para desplazarse en un área de 1/3 de hectárea equivalente a 3333.3 m².
- Velocidad de desplazamiento máxima de 2 m/s.
- El dispositivo deberá pesar menos de 15 kg para que pueda ser cargado por dos personas.

2.1.2 Requerimientos electrónicos y de control

- El dispositivo deberá contar con una fuente de energía portátil capaz de permitir un desplazamiento autónomo durante toda la realización de la siembra y el correcto funcionamiento de los sistemas de dosificación y surcado.
- Se deberá sensar constantemente la posición para corregir errores de seguimiento de ruta.
- El dispositivo deberá ser capaz de seguir una trayectoria previamente definida.
- Se deberá permitir el ingreso y lectura de datos de profundidad y densidad de siembra por parte del usuario.
- El dispositivo deberá ser capaz de controlar un correcto desplazamiento (seguimiento de ruta), controlar los motores de dirección y tracción y controlar el sistema de dosificación al mismo tiempo.
- Capacidad de memoria suficiente para poder almacenar la trayectoria a seguir como la información de las coordenadas obtenidas por los sensores.

2.2 Concepto de la solución

El presente trabajo propone, como solución al problema, el diseño de un prototipo semiautónomo para el sembrío de semillas de quinua. En la figura 2.1 se muestra una vista isométrica del sistema planteado. El prototipo será colocado por el usuario en una esquina del terreno de siembra con dirección a los surcos realizados, el cual será considerado como el punto inicial de la ruta a seguir. A continuación se mencionará las partes que conforman el prototipo.

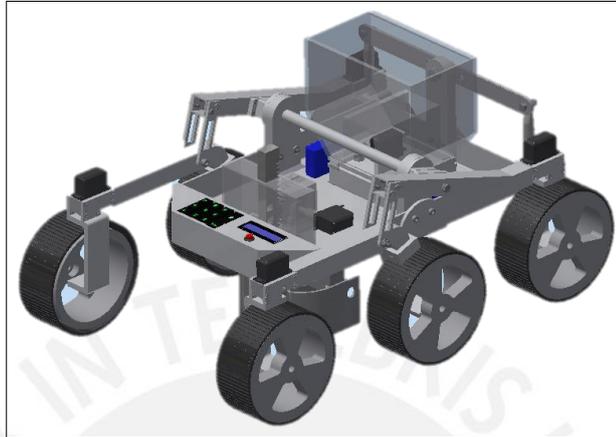


Figura 2.1: Vista isométrica del concepto de solución
Fuente: Elaboración propia

En la figura 2.2 se muestra el subsistema de interacción con el usuario (1) y subsistema regulable de dosificación (2). El subsistema de interacción con el usuario contará con una pantalla LCD y un teclado matricial, los cuales permitirán el ingreso de datos de inicio, como profundidad y densidad de siembra. El sistema regulable de dosificación, cuenta con una paleta que girará gracias a un servomotor. Al inicio ésta se encontrará tapando los cuatro huecos ubicados en el lado izquierdo y derecho de la tapa de dicho sistema. Una vez el usuario ingresa el dato de densidad de siembra, el servomotor girará la paleta, lo cual permitirá desbloquear una cierta cantidad de agujeros, permitiendo así el paso de un cierto flujo de semillas de quinua, acorde a la densidad de siembra ingresada.

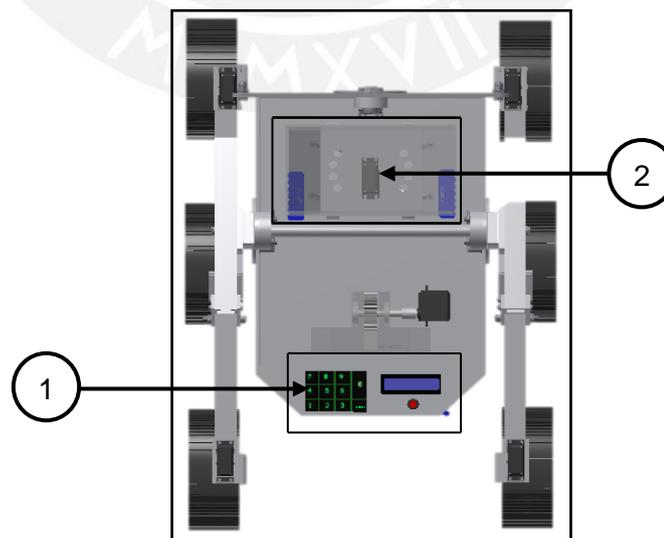


Figura 2.2: Vista superior del concepto de solución
Fuente: Elaboración propia

En la figura 2.3 se señala el subsistema de surcado (3), el cual cuenta con 2 surcadores encargados de generar dos hileras de surco, necesarias para la siembra por cama tal como se indicó en los requerimientos, a la profundidad indicada por el usuario, la cual podrá ser regulada por medio de un mecanismo de subida y bajada conformado por una cremallera y un engranaje. El engranaje girará gracias a un servomotor, el cual permitirá desplazar la cremallera hacia arriba o abajo y así desplazar también a los surcadores. También se señala el subsistema de desplazamiento (4), cuyo diseño se basó en el sistema de suspensión conocido como rocker boggie, especialmente el que fue desarrollado en la universidad de Antioquia en el año 2005 [8], este sistema garantiza el contacto de las ruedas con el terreno y a la vez permite el desplazamiento vertical respecto al chasis del vehículo para superar obstáculos [9]. Los servomotores ubicados en las ruedas de la parte delantera y trasera permitirán controlar la dirección y regularla en caso sea necesario, así como también los servomotores ubicados en cada rueda permiten controlar de manera independiente el desplazamiento de cada una.

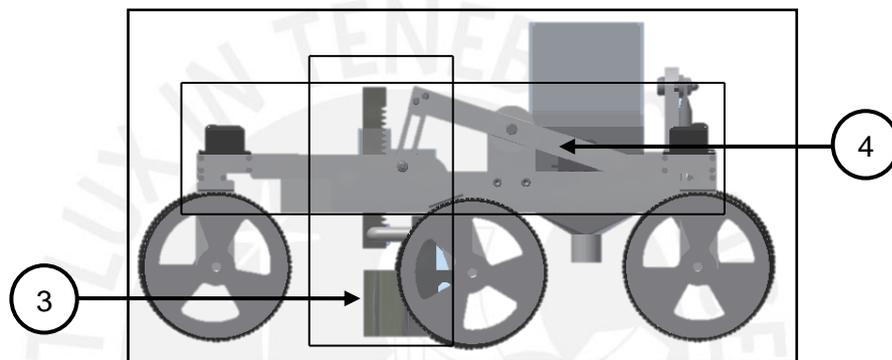


Figura 2.3: Vista lateral del concepto de solución
Fuente: Elaboración propia

En la figura 2.4 se puede apreciar con más detalle los dos dosificadores de salida para las semillas de quinua y también los dos surcadores regulables.

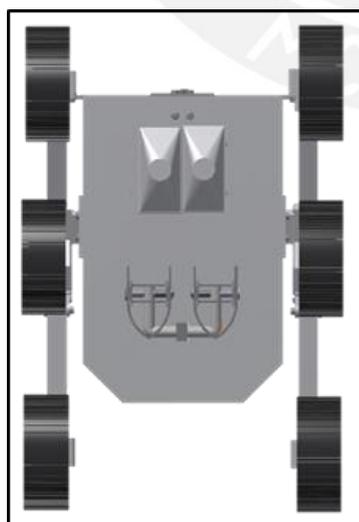


Fig. 2-4: Vista inferior del concepto de solución
Fuente: Elaboración propia

Además el sistema contará con un módulo de RF XBee que formará parte del subsistema de comunicación inalámbrica, el cual no se detallará en esta tesis pero que para aplicaciones futuras podría permitir al usuario conocer por donde se está desplazando el robot y si está siguiendo la ruta deseada, se perdió o si se atrató.

Por último el prototipo también cuenta con un subsistema de navegación, el cual incluye un módulo IMU y un módulo GPS encargado de disminuir el error generado por el componente anterior, los cuales en conjunto permiten la navegación autónoma del prototipo planteado. Si el sistema detecta que el prototipo no está siguiendo la ruta esperada, se enviara señales de corrección de dirección a los 4 servomotores de dirección.

En el capítulo 3 se detallará en que consiste cada subsistema y también se mencionara al subsistema de potencia y de control.

Capítulo 3

Sistema mecatrónico

3.1 Diagrama de funcionamiento del sistema mecatrónico

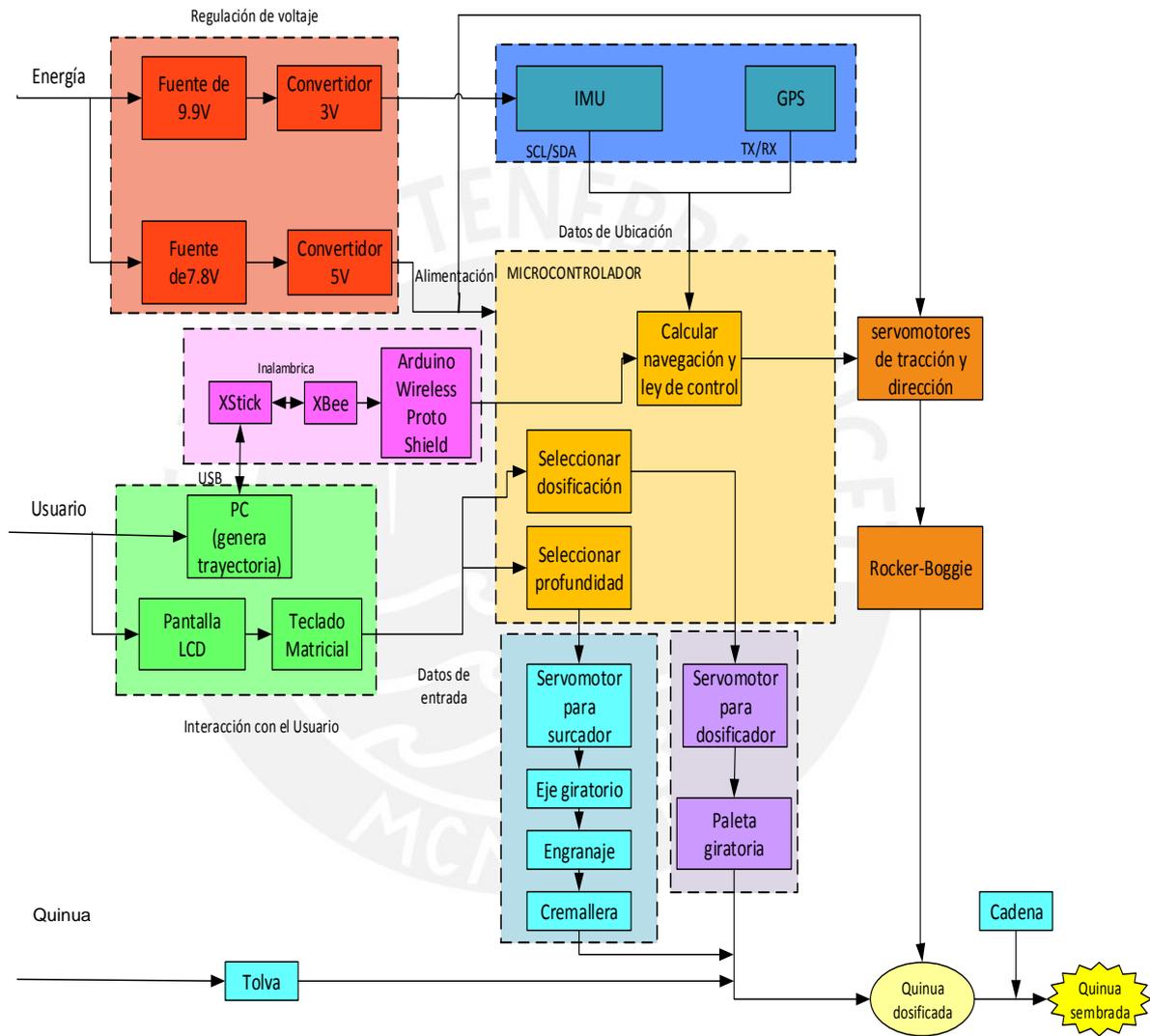


Figura 3.1.1: Diagrama de funcionamiento del sistema mecatrónico.
Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.1.1 se muestra el total de los subsistemas que integra el sistema mecatrónico. El color rojo señala al subsistema de energía, el color verde al subsistema de interacción con el usuario, el color fucsia al subsistema de comunicación inalámbrica, el color azul al subsistema de navegación, el color celeste al subsistema de surcado, el color morado al subsistema de dosificación, el color marrón al subsistema de desplazamiento y por último el color anaranjado al sistema central de control, en el cual se centra el funcionamiento y control de los subsistemas mencionados.

El subsistema de energía es el encargado de brindar de energía a los componentes del sistema mecatrónico. La batería de 12 V se conectará a un regulador de voltaje que dará como salida 5V, el cual alimentará a todos los servomotores del sistema, y la otra de 9.9V, que alimentará al Arduino directamente y de la cual también se regulará voltaje para obtener 3V que alimenten al módulo MiniIMU y al GPS. El módulo XBee será alimentado con la salida 3.3 V del mismo Arduino.

El subsistema de interacción con el usuario es el encargado de preguntar al usuario acerca de las condiciones de siembra de su preferencia, recepcionar los datos de entrada y enviarlos al controlador central. La pantalla LCD y el teclado matricial que conforman este subsistema se conectan de manera directa al Arduino Mega por medio de los puertos de entrada digital.

El subsistema comunicación inalámbrica, como se mencionó en el capítulo dos, es el encargado de que el usuario pueda saber si el prototipo está siguiendo la ruta correcta o si se ha desviado para que así pueda ir a su rescate. El módulo XBee se conecta directamente al Arduino por los puertos Tx/Rx y a la salida 3.3 V del mismo.

El subsistema de navegación es el encargado de brindar la información necesaria para que pueda calcular la ubicación del prototipo al controlador central, para que éste la procese y así pueda controlar que el prototipo siga la trayectoria previamente definida. La información es obtenida por medio de un módulo que integra un IMU, el cual se conecta al microcontrolador por medio de los puertos SCL/SDA, y el módulo GPS, que se conecta al microcontrolador por medio de los puertos Tx/Rx.

El subsistema de surcado es el encargado de realizar las líneas de surco para que se depositen en ellas las semilla de quinua. Recibirá la información del controlador central, la cual determina cuanto deberá girar el servomotor de surcado en relación a la profundidad de siembra requerida; y como ya se explicó en el capítulo dos, gracias al engranaje y cremallera, los surcadores podrán desplazarse de arriba hacia abajo o viceversa. El servomotor de surcado estará conectado de manera directa al Arduino Mega por medio de uno de los puertos PWM.

El subsistema de dosificación es el encargado de dosificar las semillas de quinua. Al igual que el subsistema de surcado, recibirá la información del controlador central, el cual determina cuanto deberá girar el servomotor de dosificador en relación a la densidad de siembra requerida; y como ya se explicó también en el capítulo dos, esto permitirá que la paleta regule el flujo de semillas de quinua.

El subsistema de desplazamiento es el encargado del movimiento del prototipo planteado, este recibirá la información del controlador central para poder regular el giro de los servomotores de dirección. Los servomotores de dirección y tracción estarán conectados, de manera directa al Arduino Mega, a los puertos PWM de este último.

El controlador central, esta aquel que integra las funciones de todos los demás subsistemas. Su funcionamiento se basa principalmente en recibir los datos de entrada ingresados por el usuario, recibir los datos de los sensores de navegación y procesar la información para poder enviar señales de control requeridas al subsistema de dosificación para obtener un adecuado flujo de semillas, al subsistema de surcado para cumplir con la profundidad de siembra y al subsistema de desplazamiento para que el prototipo pueda seguir la trayectoria necesaria y así en conjunto realizar una tarea de manera eficiente, con resultados esperados.

3.2 Sensores y actuadores

3.2.1 Sensores

3.2.1.1 IMU

En la figura 3.2.1 se muestra el módulo IMU elegido, consta de un acelerómetro, magnetómetro y un giroscopio, llamado MiniIMU-9. Los datos capturados por este módulo son enviados al microcontrolador en la misma dirección compartida I²C, tal y como se puede encontrar en su hoja de datos adjuntada en el Anexo 9.1.

Un acelerómetro es un tipo de sensor analógico transductor que detecta el movimiento o el giro, es decir, es capaz de responder con una señal eléctrica ante una perturbación inducida por la aplicación de una fuerza o la gravedad. Puede medir las variaciones de aceleración en los tres ejes X, Y, Z, y dará tres voltajes proporcionales a la aceleración en cada eje.

Un magnetómetro (compas) detecta de donde proviene la mayor fuerza electromagnética. Este efecto es utilizado para situar el norte magnético, lo cual ayudara a determinar si el prototipo está siguiendo la dirección deseada.

Las nueve lecturas independientes de rotación, aceleración y campo magnético brindan toda la información necesaria para crear un sistema de referencia, ya que nos permite tener los datos de posición, aceleración y campo magnético. El microcontrolador dotado de un algoritmo adecuado puede usar esta información para calcular la orientación del prototipo. Por lo tanto, el giroscopio se puede utilizar para realizar un seguimiento de forma muy precisa a la rotación en un corto plazo de tiempo, mientras que el acelerómetro y la brújula pueden ayudar a compensar la deriva del compás con el tiempo, proporcionando un marco de referencia absoluto.

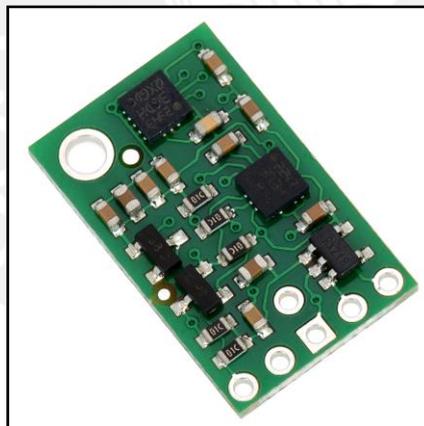


Figura 3.2.1: Vista isométrica del MiniIMU-9
Fuente: [11]

Tabla 3.2.1: Características del IMU

Modelo	Alimentación	Corriente de Suministro	Rango de Operación	Precisión
MiniIMU-9 v3	3 V	6 mA	Acelerómetro ± 16 g	4 mg
			Compas ± 2 Gauss	5 mgauss
			Gyroscopio ± 2000 dps	70 mdps

En la figura 3.2.2 se indica que el módulo MinIMU-9 se encuentra en la placa para tarjetas electrónicas ubicada en la parte delantera de la base del prototipo.

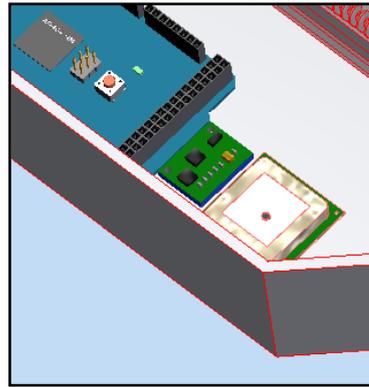


Figura 3.2.2: Ubicación del Acelerómetro ADXL 345
Fuente: Elaboración propia

3.2.1.2 GPS (Global positioning system)

Es un dispositivo electrónico que permite conocer la posición de un objeto, una persona, un vehículo o una nave en cualquier parte del mundo. Los datos del receptor GPS son absolutos. El error de los datos obtenidos por medio del acelerómetro y el compas aumenta con el tiempo, por lo cual es necesario usar un dispositivo que ayude a disminuir dicho error, para esto está el GPS quien ayuda a corregir el error de los datos obtenidos.

En la figura 3.2.3 se muestra el módulo GPS elegido es el LS20031 (Anexo 9.2), el cual integra el MediaTek MT3339 66-channel GPS con una antena cerámica para crear un módulo GPS completo que pueda seguir hasta 66 satélites GPS al mismo tiempo. En la figura 3.4, se muestra las características del GPS escogido.

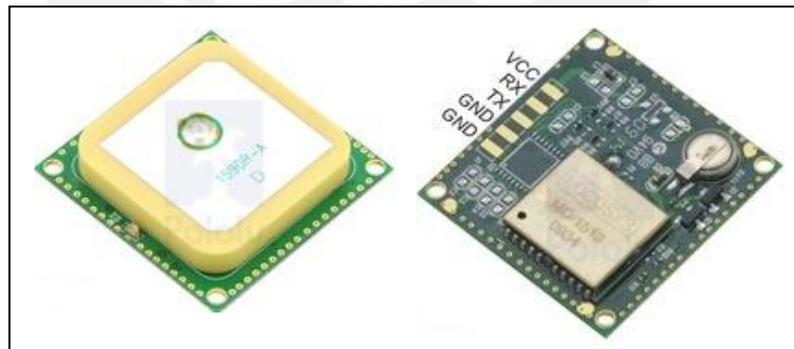


Figura 3.2.3: Vista isométrica de la parte superior e inferior del GPS
Fuente: [12]

Tabla 3.2.2: Características del Módulo GPS

Modelo	Alimentación	Consumo Corriente	Interfaz	Precisión
LS20031	3 V	13 mA	Tx/Rx	2.5 m

En la figura 3.2.4 se muestra la ubicación del módulo GPS, el cual se encuentra al lado del MiniIMU.

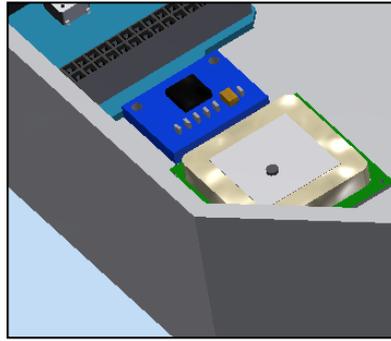


Figura 3.2.4: Ubicación del módulo GPS LS20031
Fuente: Elaboración propia

3.2.1.3 XBee

Los módulos XBee integran un transmisor-receptor de ZigBee (protocolo de comunicaciones inalámbrico basado en el estándar de comunicaciones IEEE 802.15.4) y un procesador en un mismo módulo, lo cual permite desarrollar aplicaciones rápidas de comunicación. Son de bajo consumo y permiten realizar comunicación desde 100 m hasta 1600 m (Anexo 9.3).

En la figura 3.2.5 se muestra el modelo XBee series 2, el cual será utilizado para establecer una conexión inalámbrica entre el prototipo y una estación de control, lo cual permitirá que el usuario sepa si la máquina está siguiendo la tarea (trayectoria) asignada, es decir si no se ha perdido o si se ha quedado atascado y así pueda ir a su rescate. Será colocado sobre un Wireless SD Shield para Arduino Mega.



Figura 3.2.5: Modulo XBee series 2
Fuente: [13]

En la tabla 3.2.3 se muestra las especificaciones importantes del módulo XBee

Tabla 3.2.3: Características del Módulo XBee

Modelo	Alimentación	Consumo Corriente	Interfaz	Alcance
XBee series 2	3.3 V	50 mA	Tx/Rx	100 m

3.2.1.4 XStick

XStick de Digi es un USB de fácil funcionamiento que proporciona conectividad local para redes inalámbricas compuestas por XBee.

En la figura 3.2.6 se muestra el XStick a utilizar, el cual simplemente se conectará al puerto USB de un ordenador portátil o PC para acceder a la red XBee, lo cual además contribuirá con la portabilidad del sistema (Anexo 9.4).



Figura 3.2.6: XStick
Fuente: [14]

3.2.2 Actuadores

3.2.2.1 Servomotores de aeromodelismo para tracción

El servomotor, utilizado para la tracción de las seis ruedas, será manipulado para convertirlo en un motor que pueda girar 360° libremente y así mantener el giro constante de las ruedas. Se eligió trabajar de esta manera con los servomotores y no usar motores DC, debido a que no se necesitara montar un circuito de potencia para controlar cada servomotor, son de peso muy ligero pero de alto torque y son capaces de moverse sobre una superficie en la que se necesite vencer alta resistencia al desplazamiento, así como también superar obstáculos. La manipulación consta en retirar los topes de los engranajes y potenciómetros con mucho cuidado [10].

En la figura 3.2.7 se muestra una vista isométrica del servomotor elegido que es el servomotor TowerPro-9 Mg995 de 10kg.cm de torque, el cual fue elegido debido a que multiplicado por seis (seis servomotores) cumple con la potencia requerida para el avance del prototipo (Anexo 5), además de ser de un precio bastante cómodo. En la tabla 3.2.4 se muestran las principales características de dicho servomotor.



Figura 3.2.7: Vista isométrica del motor de tracción
Fuente: [15]

Tabla 3.2.4: Características del Servomotor de tracción

Modelo	Alimentación	Modulación	Torque	Velocidad
Mg995	5 V	Análoga	10 kg.cm	0.2 s/60°

En la figura 3.2.8 se muestra la ubicación del módulo servomotor de tracción, el cual se encuentra sostenido por la pieza que une las ruedas a la estructura rocker-bogie.

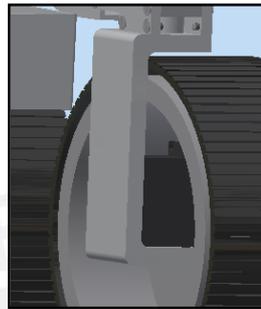


Figura 3.2.8: Ubicación del servomotor de tracción

3.2.2.2 Servomotores para dirección

La precisión de giro es muy importante en el proyecto y la manera más eficiente de adquirirlas es con la ayuda de los servomotores que nos brindan posiciones o movimientos exactos.

En la figura 3.2.9 se muestra el servomotor elegido que es el modelo Futaba S3010, a pesar de su tamaño estándar posee extra potencia y velocidad, además de su precio ser económico. En la tabla 3.2.5 se muestran las principales características de dicho servomotor.



Figura 3.2.9: Vista isométrica del motor de dirección
Fuente: [16]

Tabla 3.2.5: Características del Servomotor de dirección

Modelo	Alimentación	Modulación	Torque	Velocidad
S3010	5 V	Análoga	5.2 kg.cm	0.2 s/60°

En la figura 3.2.10 se muestra la ubicación del Servomotor de dirección, el cual se encuentra en las esquinas de la parte delantera y trasera del prototipo.

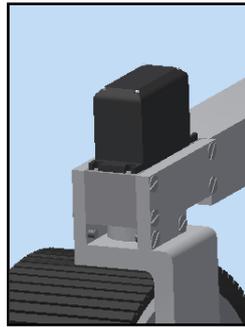


Figura 3.2.10: Ubicación del Servomotor de dirección

3.2.3 Otros

3.2.3.1 Arduino mega

El sistema de control central estará administrado por la plataforma de hardware libre Arduino de modelo Mega 2560. Esta plataforma es de fácil aprendizaje y uso debido a su lenguaje básico de programación. Posee 54 pines digitales que funcionan como entrada/salida, de los cuales 15 pueden actuar como salidas PWM; 16 entradas análogas, un cristal oscilador de 16 MHz, una conexión USB, un botón de reset y una entrada para la alimentación de la placa. Además cuenta con tres tipos de memoria (Tabla 3.2.7)

La comunicación entre la computadora y Arduino se produce a través del puerto serial, sin embargo se puede utilizar un convertidor USB-serial para facilitar el uso de recursos.

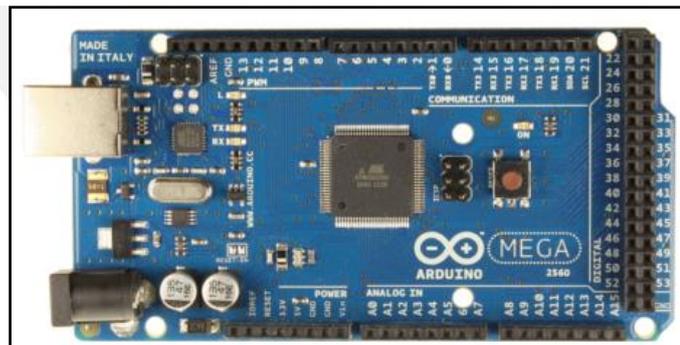


Figura 3.2.11: Arduino mega
Fuente: [17]

Tabla 3.2.6: Características del Arduino mega

Modelo	Microprocesador	Alimentación	Consumo de Corriente x cada Pin E/S
Arduino mega	Atmega 2560	7-12 V	40 mA

Tabla 3.2.7: Memoria Arduino mega

Tipo de memoria	Tamaño	Tipo	Descripción
FLASH	256 KB	No volátil	Guarda el programa
EEPROM	4 KB	No volátil	Guarda información a largo plazo
SRAM	8 KB	Volátil	Guarda y manipula variables al ejecutar el programa

3.2.3.1 Wireless SD Shield

El shield propuesto permite la comunicación inalámbrica mediante el uso de un módulo inalámbrico, se diseñó para ser usado con XBee pero es compatible con otros tipos de módulo. También posee una ranura para memoria SD, la cual puede almacenar información utilizando la librería SD de Arduino, lo cual podría ser de ayuda para almacenar mayor cantidad de información en un futuro.

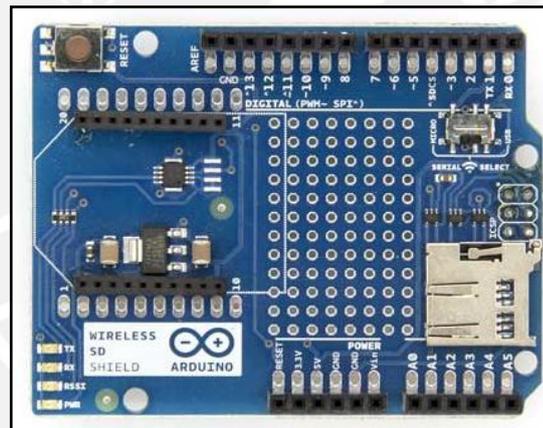


Figura 3.2.12: Wireless SD Shield
Fuente: [18]

3.2.3.1 Baterías

Las baterías a utilizar son 2, una para el sistema de control y otra para el sistema de potencia. Para el primero se utilizará una batería LIPO de 9.9 V y 1800 mAh que alimentará el regulador de voltaje a 3 V, necesario para este sistema. Para el segundo se utilizará una batería LIPPO de 7.8 V y 10 Ah. Ambas baterías fueron elegidas porque permiten la autonomía del sistema, comprobado en el anexo 9.



Figura 3.2.13: Baterías a utilizar
Fuente: [19] y [20]

3.3 Planos del sistema mecatrónico

A continuación, se presentarán los planos mecánicos que forman parte del sistema mecatrónico planteado. Además, se presentará una breve descripción de cada uno. Cabe mencionar que estos planos son presentados a tamaño completo en el anexo 10, con su respectivo número y el sufijo L.

En la figura 3.3.1 se muestran las vistas principales del sistema mecatrónico, tales como la vista superior (A), donde se encuentra el detalle B, la vista lateral (B) donde se indica la vista G y el detalle A y la vista frontal (C) donde se indica el detalle D. El sistema mecatrónico medirá 429 mm de ancho, 667 mm de largo y 345 mm de alto. En la figura también se indica con números algunas de las partes que componen dicho sistema.

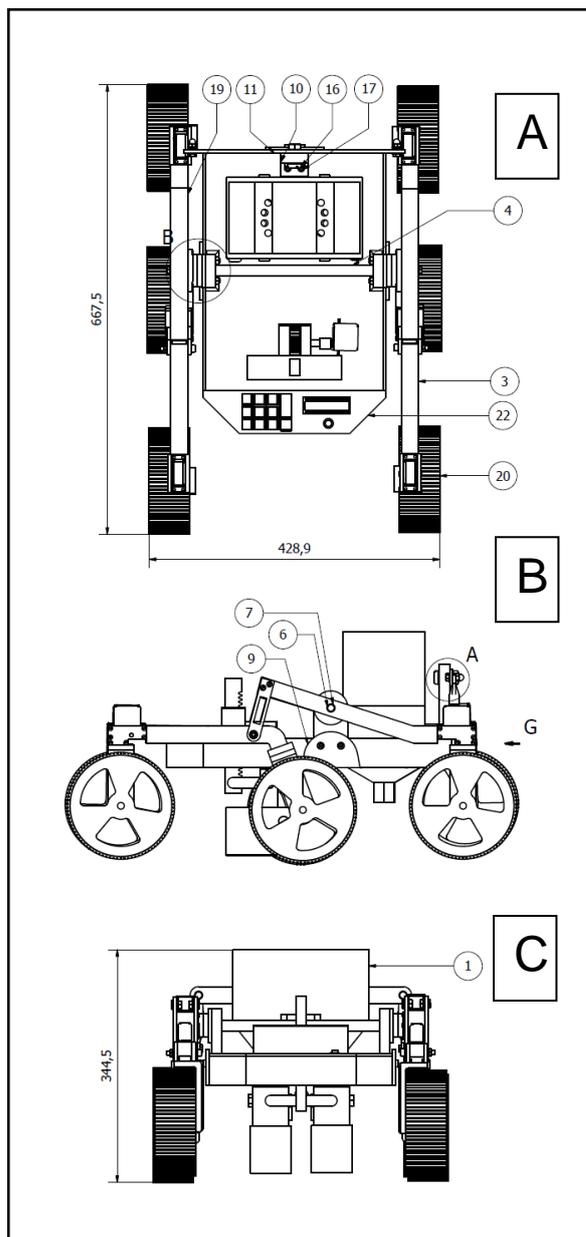


Figura 3.3.1: Plano de las vistas principales del ensamblaje total
Fuente: Elaboración propia

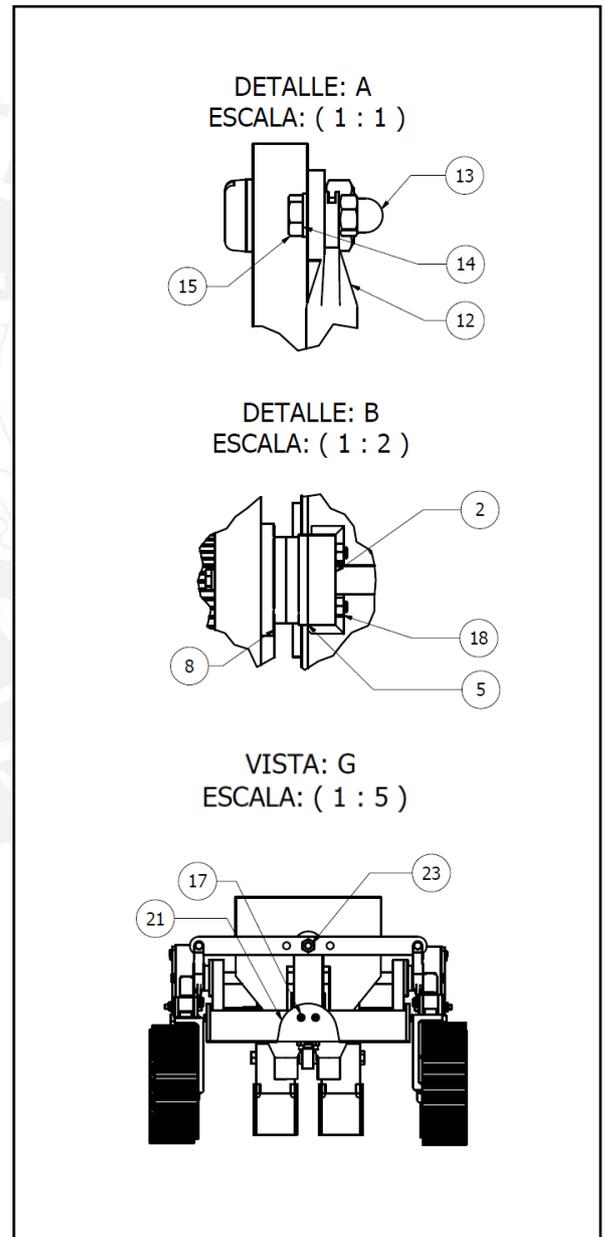


Figura 3.3.2: Detalles y secciones del plano ensamblaje total
Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.3.2 se muestra los detalles y vistas indicados en la figura 3.15, donde también se indica con números partes del sistema mecatrónico.

En las figuras 3.3.1 y 3.3.2 se detallan los componentes que integran el sistema mecatrónico, los cuales serán descritos y referenciados en la tabla 3.2.8, en la cual también se indica que el ensamblaje total está conformado por dos subensambles, el subensamble dosificación y surcado y el subensamble rocker-boggie.

Tabla 3.2.8: Partes del ensamble total

23	1	TUERCA HEXAGONAL M10	DIN 934	AISI 316	
22	1	TAPA BASE		AA 6061	VER LAMINA 54
21	1	SUJETADOR 2		AA 6061	VER LAMINA 53
20	4	RUEDA			
19	1	ENSAMBLE ROCKER BOGGIE MIR			
18	10	TUERCA HEXAGONAL M6	DIN 934	AISI 316	
17	8	TORNILLO DE CABEZA BAJA HUECA M6x30	DIN 6912	AISI 1020	
16	1	TORNILLO HEXAGONAL DE ROSCA GRUESA M10x30	DIN 7964	AISI 1020	
15	4	PERNO DE CABEZA HEXAGONAL M6x16	ISO 4018	AISI 1020	
14	2	ARANDELA DE SOPORTE	DIN 988-56x12		
13	2	TUERCA HEXAGONAL M6	DIN 1587	AISI 1020	
12	2	BARRA 1		AA 6061	VER LAMINA 10
11	1	UNION LADOS		AA 6061	VER LAMINA 9
10	1	PARANTE 2		AA 6061	VER LAMINA 8
9	2	SUJETADOR 1		AA 6061	VER LAMINA 7
8	8	TORNILLO DE CABEZA PLANA AVELLANA M3x10	ISO 10642	AISI 316	
7	3	ARANDELA PLANA	DIN 125-A6.4	AISI 1020	
6	2	PERNOS DE CABEZA HEXAGONAL M6x30	DIN 931-1	AISI 1020	
5	2	UNION P2		ABS	VER LAMINA 6
4	1	EJE 2		AA 6061	VER LAMINA 5
3	1	ENSAMBLE ROCKER BOGGIE			VER LAMINA 4
2	2	PARANTE 1		AA 6061	VER LAMINA 3
1	1	DOSIFICACION Y SURCADO			VER LAMINA 2
POS	CANT	DESCRIPCION	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES

En la figura 3.3.3 se muestra el plano del subensamble dosificación y surcado. El cual lo conforman cuatro partes, la base 2, sistema de dosificación, sistema de surcado (caja 2) y sujetador 2.

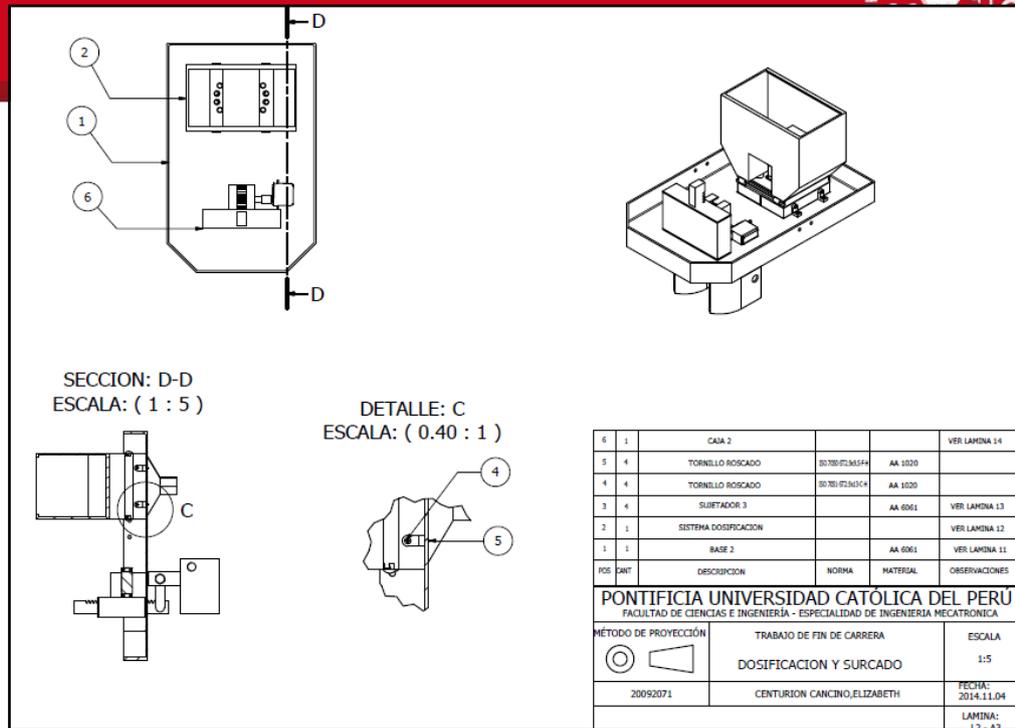


Figura 3.3.3: Plano del subensamble dosificación y surcado
 Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.3.4 se muestra el plano de la base 2, la cual estará compuesta por perfiles de acero ASTM A36 en L y la base y lados serán de aluminio AA 6061. Cuyo análisis de esfuerzos se encuentra en el anexo 4.

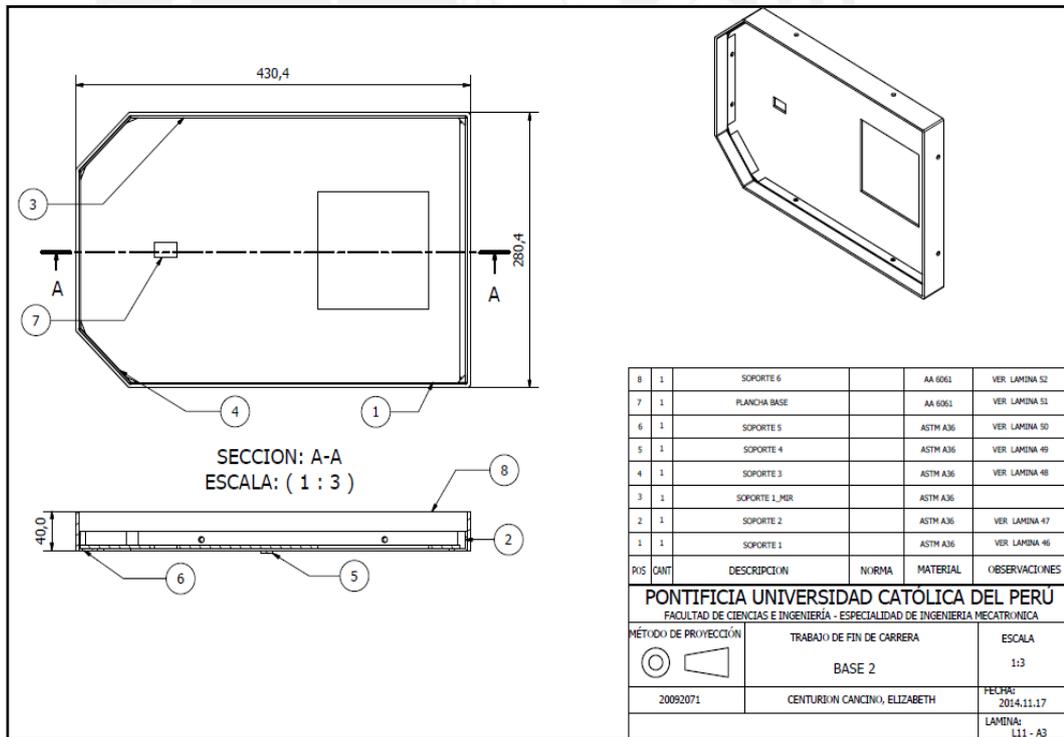


Figura 3.3.4: Plano de la Base 2 (L11)
 Fuente: Elaboración propia

En la 3.3.5 se muestra el plano del soporte 6 (posición 8 de la figura 3.14), el cual será fabricado de una plancha de aluminio AA 6061 de 3.18 mm de espesor rolada

en cada esquina para tomar la forma cuadrada con esquinas triangulares, como se indica en la figura.

En la figura 3.3.6 se muestra el plano de la plancha base (numero 7 de la figura 3.14), el cual será fabricada de una plancha de aluminio AA 6061 de 3.18 mm de espesor.

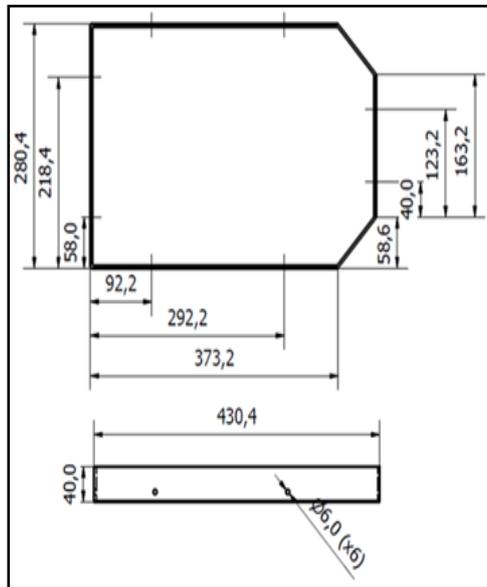


Figura 3.3.5: Plano de perfil 6 (L52)
Fuente: Elaboración propia

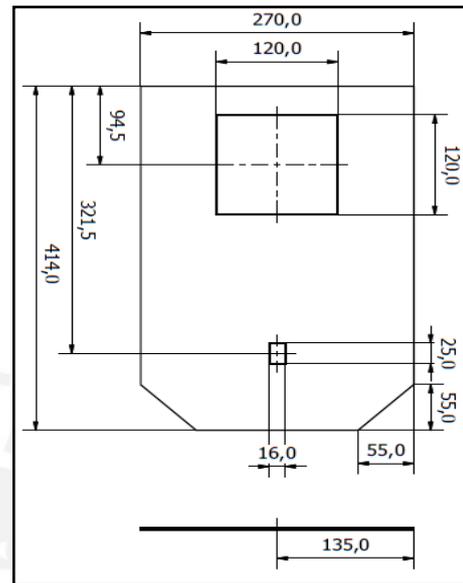


Figura 3.3.6: Plano de plancha base (L51)
Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.3.7 se muestran los planos de los perfiles que conforman la base 2, cuyos números hacen referencia a los indicados en la figura 3.3.4. Todos los perfiles serán de 20 mm x 20 mm x 2 mm y estarán hechos de acero ASTM A36.

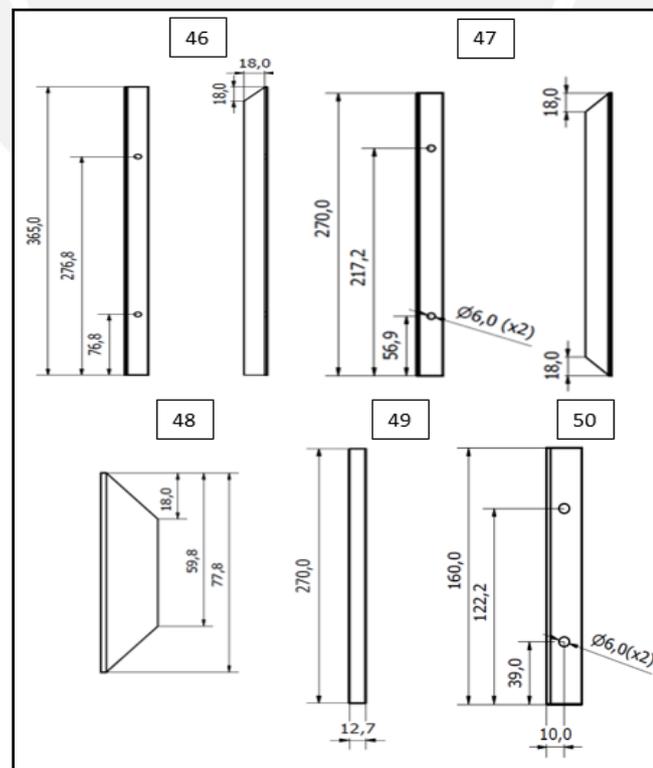


Figura 3.3.7: Planos de perfiles que conforman la base 2 (L46, L47, L48, L49, L50)
Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.3.8 se muestra el plano del sistema dosificación, el cual está conformado por un servomotor, una tolva y el sistema dosificador medio. Cabe mencionar que el servomotor será unido a la paleta por medio de un acople de modelo “Servo Shaft Hub” (Anexo 9.10).

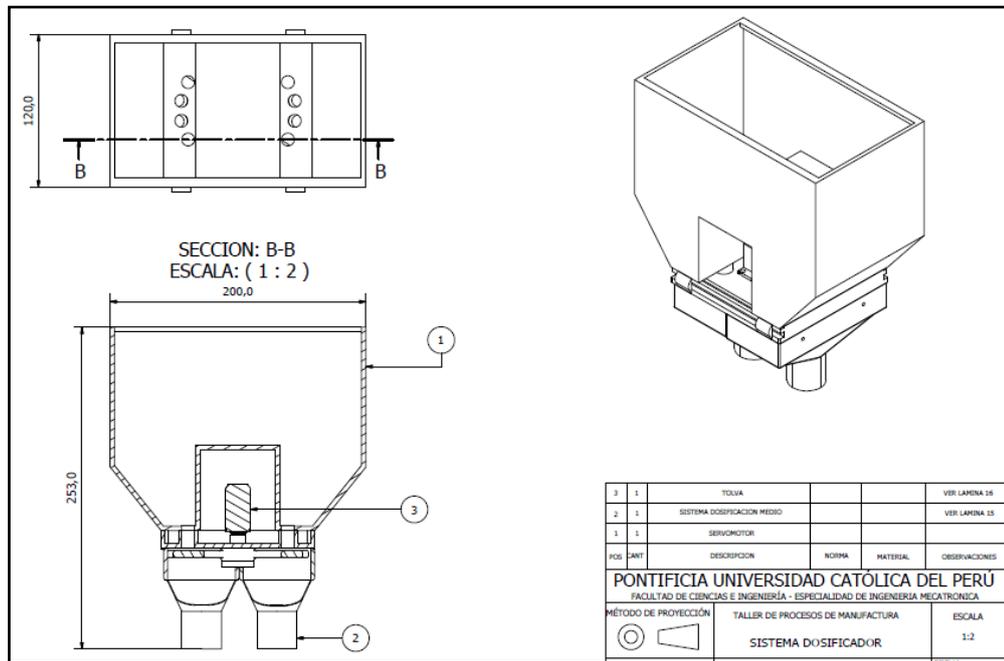


Figura 3.3.8: Plano del sistema Dosificador (L12)

Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.3.9 se muestra el plano de la tolva que forma parte del sistema dosificador, la cual estará fabricada de acrílico PMMA.

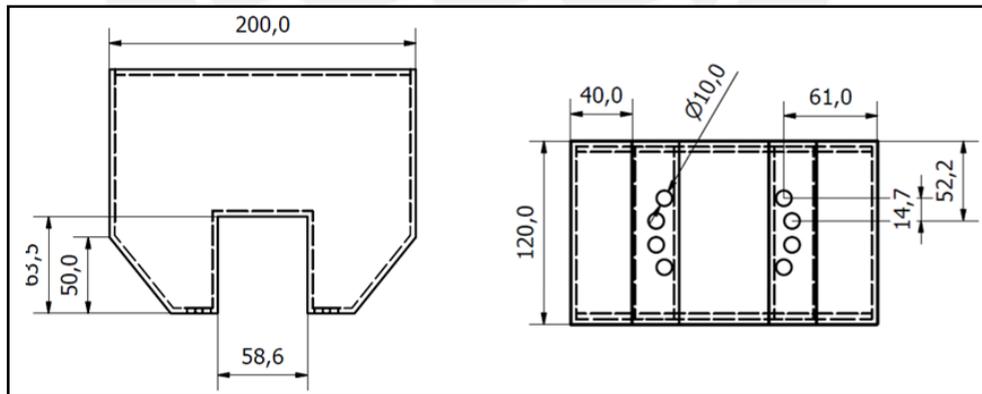


Figura 3.3.9: Plano de la tolva (L16)

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3.2.9 se muestran las partes que forman el sistema dosificador medio. En las figura 3.3.10, 3.3.11 y 3.3.12 se muestran los planos de las partes indicadas en la tabla 3.2.7. Dichas partes serán fabricados por impresión 3D con material ABS.

Tabla 3.2.9: Partes del sistema dosificador medio

POS	CANT	DESCRIPCION	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
3	2	DOSIFICADOR		ABS	VER LAMINA 19
2	1	BASE 1		ABS	VER LAMINA 18
1	1	PALETA		ABS	VER LAMINA 17

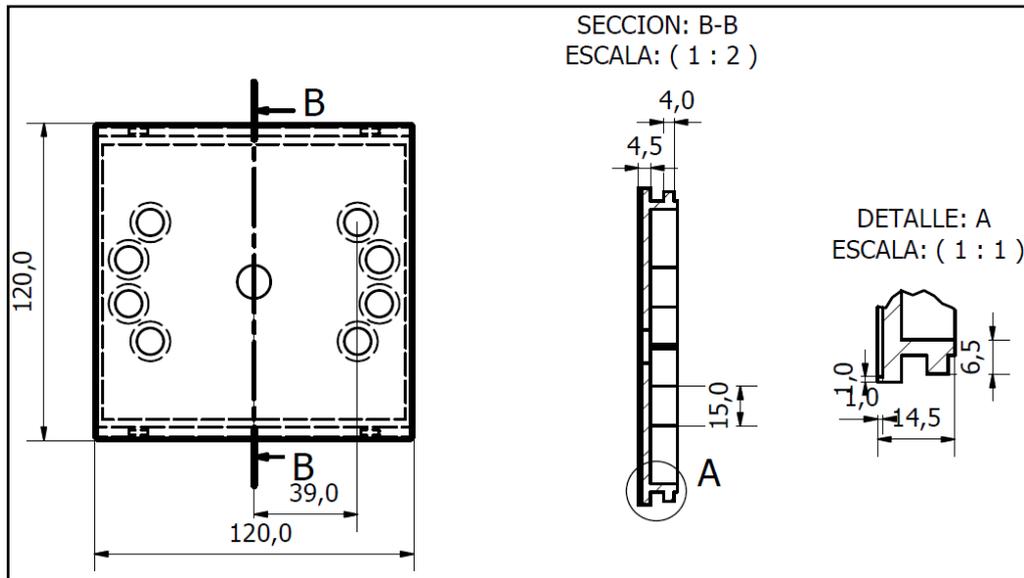


Figura 3.3.9: Plano de la vista superior y lateral de la base 1 (L18)
Fuente: Elaboración propia

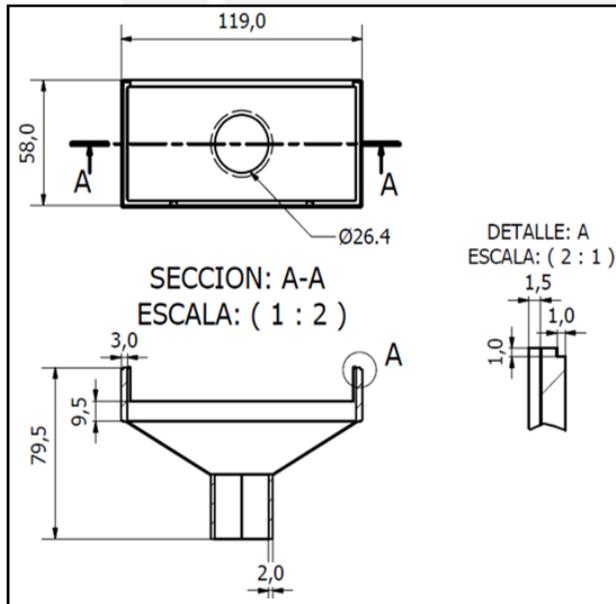


Figura 3.3.11: Plano de la vista frontal y superior del dosificador (L19)
Fuente: Elaboración propia

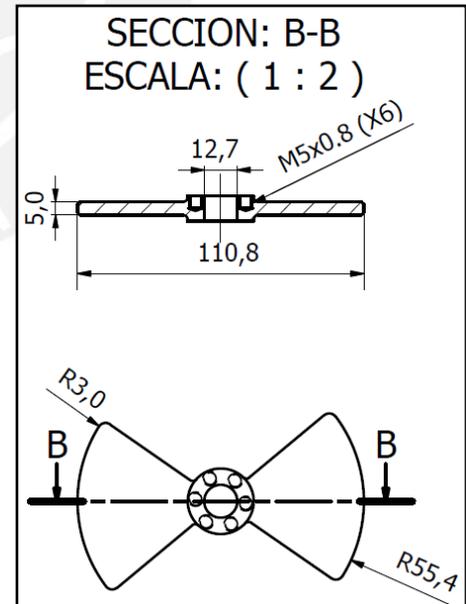


Figura 3.3.12: Plano de la vista frontal y superior de la paleta (L17)
Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.3.13 se muestra el plano del sujetador 3 indicado en la figura 3.3.3 como parte del subensamble del sistema dosificador y surcador. Este sujetador une la el dosificador a la base 2. Estará fabricado de aluminio AA6061 y será unido con tornillos roscado. Se cuenta con cuatro de estos sujetadores.

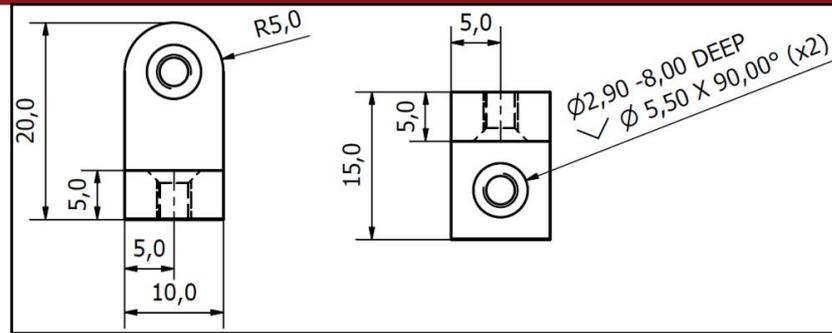


Figura 3.3.13: Plano de la vista frontal y superior del sujetador 3 (L13)
Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.3.14 se muestra el plano de la caja 2 o sistema de surcado, el cual hace referencia al sistema abresurco, sistema interrupción y demás partes.

En la figura 3.3.15 se muestra el plano de la vista inferior y frontal de la parte caja (1 en la figura 3.3.14), la cual cubrirá a la cremallera y sostendrá al sistema interrupción.

En la figura 3.3.16 se muestra la vista superior de la tapa 1 (2 en la figura 3.3.14), vista necesaria y suficiente para indicar las dimensiones de esta. También se muestra la vista frontal de la tapa 2 (6 en la figura 3.3.14) en donde se indica las dimensiones necesarias para su fabricación.

En la figura 3.3.17 se muestra la vista frontal y superior de parte caja 2 (4 en la figura 3.3.14), la cual servirá para cubrir el engranaje y colocar las chumaceras de aluminio de modelo "Bore pillow block" (Anexo 9.10) que sostendrán el eje de la cremallera. Las cuatro últimas piezas mencionadas estarán fabricadas de acrílico PMMA cuyo espesor será de 2mm.

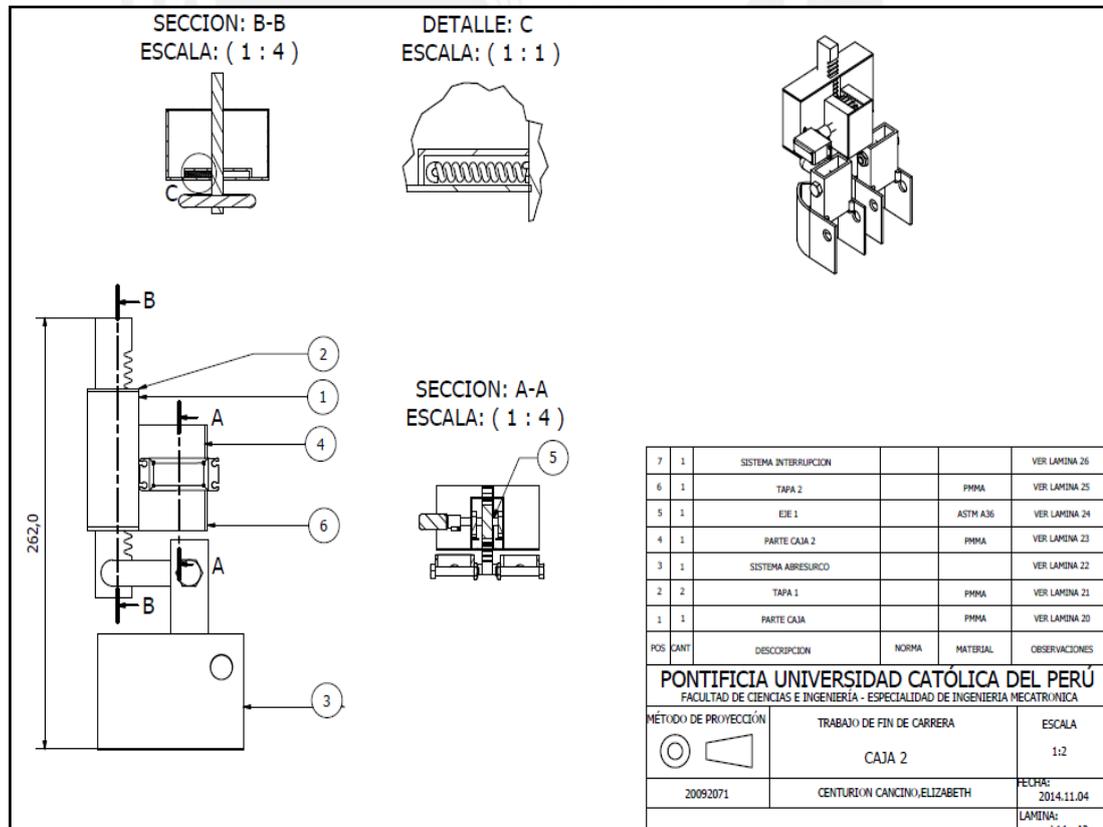


Figura 3.3.14: Plano de la caja 2 (L14)
Fuente: Elaboración propia

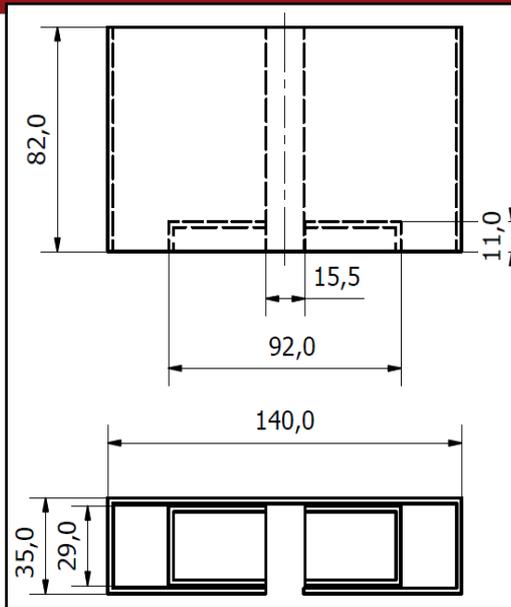


Figura 3.3.15: Plano de la vista frontal e inferior de parte caja (L20)
Fuente: Elaboración propia

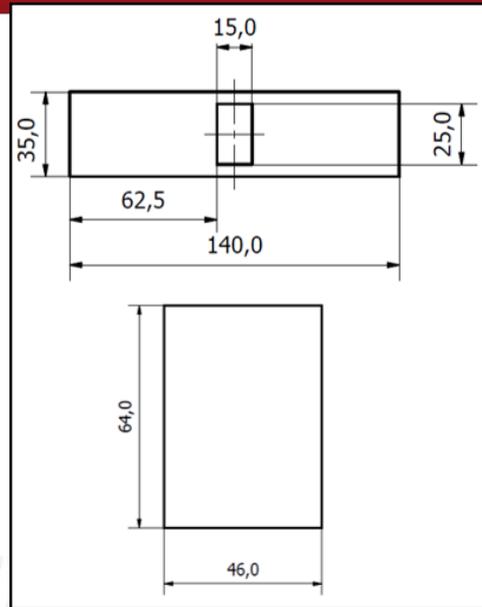


Figura 3.3.16: Plano de la vista superior de tapa 1 y vista frontal de tapa 2 (L25)

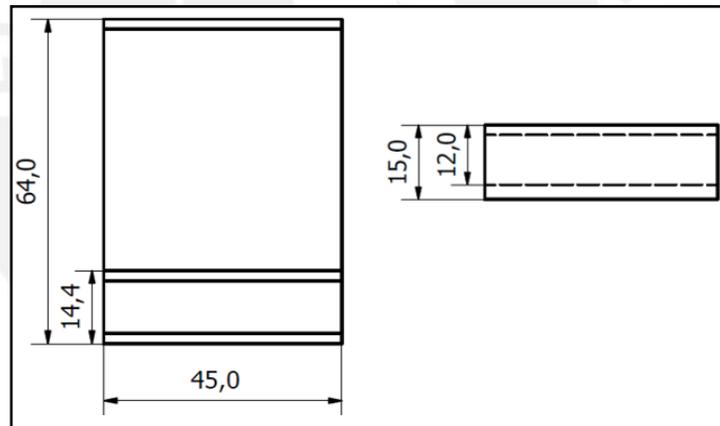


Figura 3.3.17: Plano de la vista frontal y superior de parte caja 2 (L23)
Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.3.18 se muestra el plano del engranaje que forma parte del sistema abresurco, el cual será fabricado de acero AISI4340. Este engranaje será el encargado de transmitir movimiento a la cremallera para que esta se desplace la distancia necesaria para la profundidad del surco a realizar. El cálculo de su elección se encuentra en el Anexo 1.

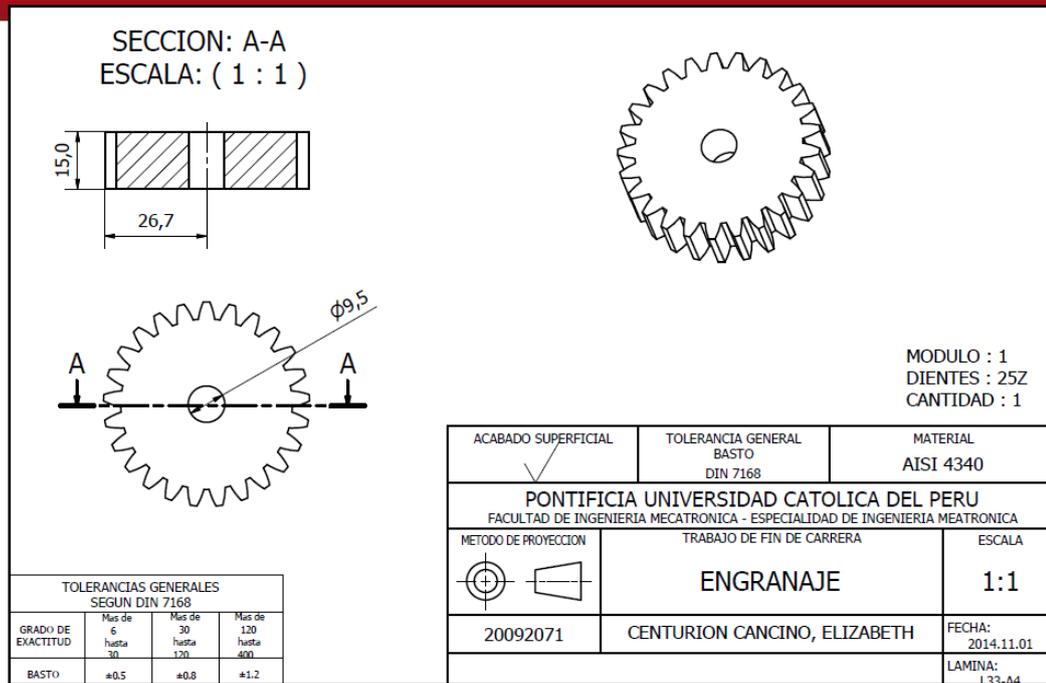


Figura 3.3.18: Plano del engranaje del sistema abresurco (L33)
Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.3.19 se muestra el plano de la cremallera que forma parte del sistema abresurco, la cual también será fabricada de acero AISI4340. La cremallera será la encargada de subir o bajar los surcadores, para obtener la profundidad de siembra requerida por el agricultor.

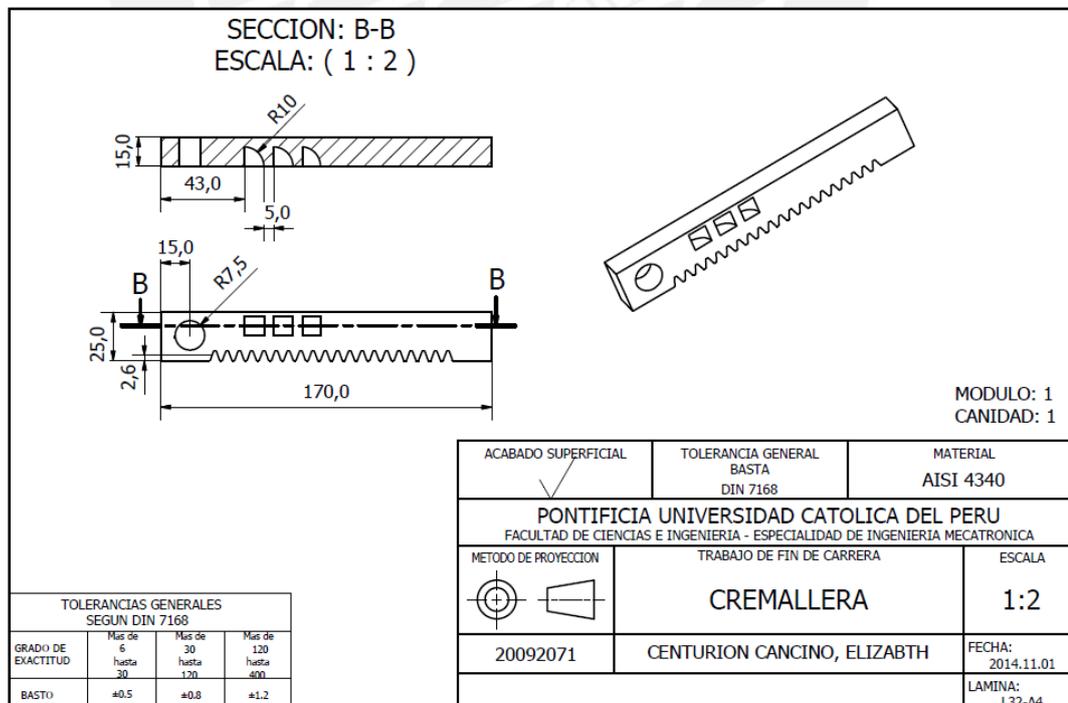


Figura 3.3.19: Plano de la cremallera del sistema abresurco (L32)
Fuente: Elaboración propia

En la parte A de la figura 3.3.20 se muestra el plano de la vista frontal del eje 1 para el engranaje del sistema abresurco el cual se acoplara al servomotor con un acople de modelo “servo shaft coupler” (Anexo 9.10). En la parte B de la misma figura se

muestra el plano de la vista lateral y superior del eje abresurco, encargado de unir la cremallera con los surcadores. Los dos ejes mencionados serán fabricados de acero SAE 1045.

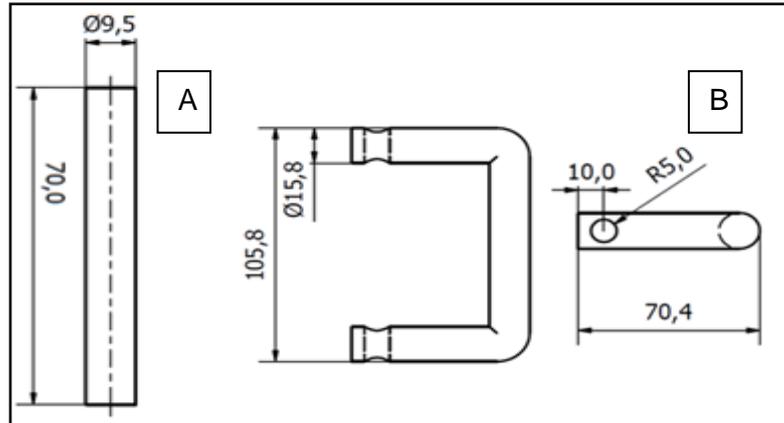


Figura 3.3.20: Plano de la vista frontal del eje 1 y vista lateral y superior del eje abresurcos
Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.3.21 se muestra el plano de la unión abresurco la cual se encargara, como dice su nombre, de unir el eje abresurco con los surcadores. Sera fabricado de aluminio AA 6061 de 4.75 mm de espesor y será unida a los surcadores por medio de soldadura por arco utilizando un inserto de transición bimetálico.

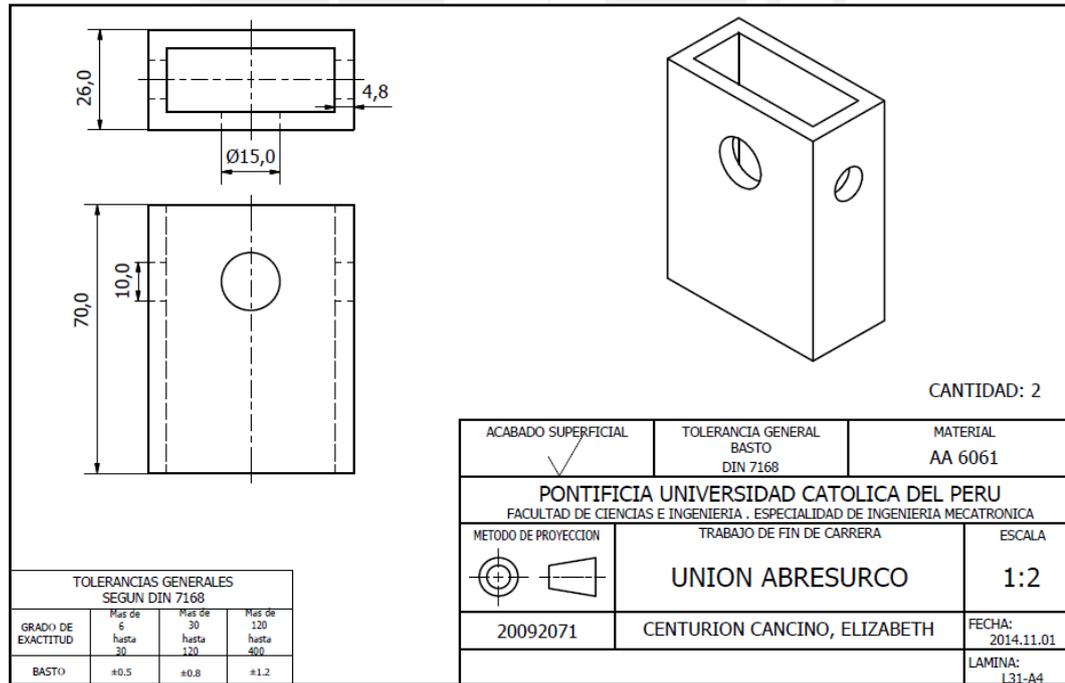


Figura 3.3.21: Plano de la pieza unión abresurco (L31)
Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.3.22 se muestra el plano de la unión abresurco la cual se encargara, como dice su nombre, de unir el eje abresurco con los surcadores. Sera fabricado de aluminio AA 6061 de 4.75 mm de espesor.

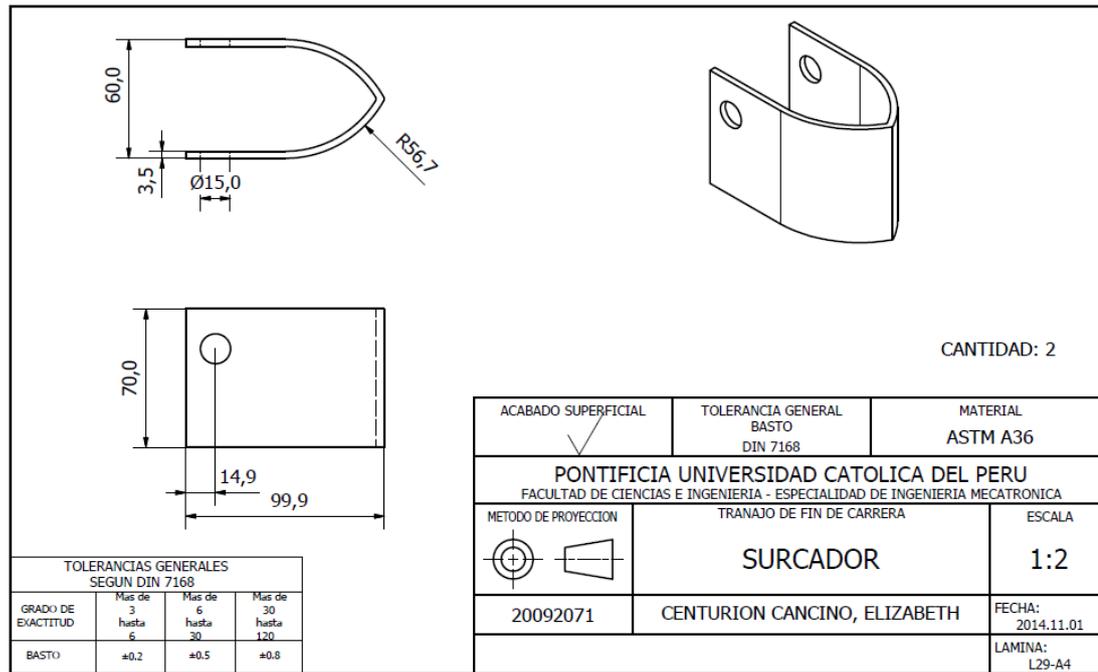


Figura 3.3.22: Plano de la pieza surcador
Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.3.23 se muestra el plano de la interrupción del sistema interrupción, la cual será unida a un resorte de tracción de 2 mm de hilo, 3 cm de largo de cuerpo. 4.5 cm de largo total y 1 cm de diámetro exterior.

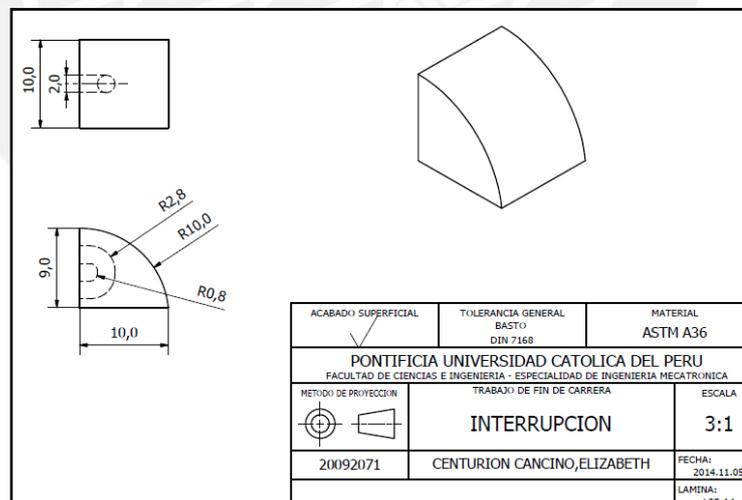


Figura 3.3.23: Plano de la pieza interrupción
Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.3.24 se muestra el plano del ensamble rocker-boggie, el cual integra al rocker, boggie, pivote y demás piezas. Se utilizará dos ensambles de este tipo en ambos lados, los cuales serán unidos entre si a la base del sistema, por medio de la pieza eje2 y la pieza unión lados, la cual cumple la función de un diferencial.

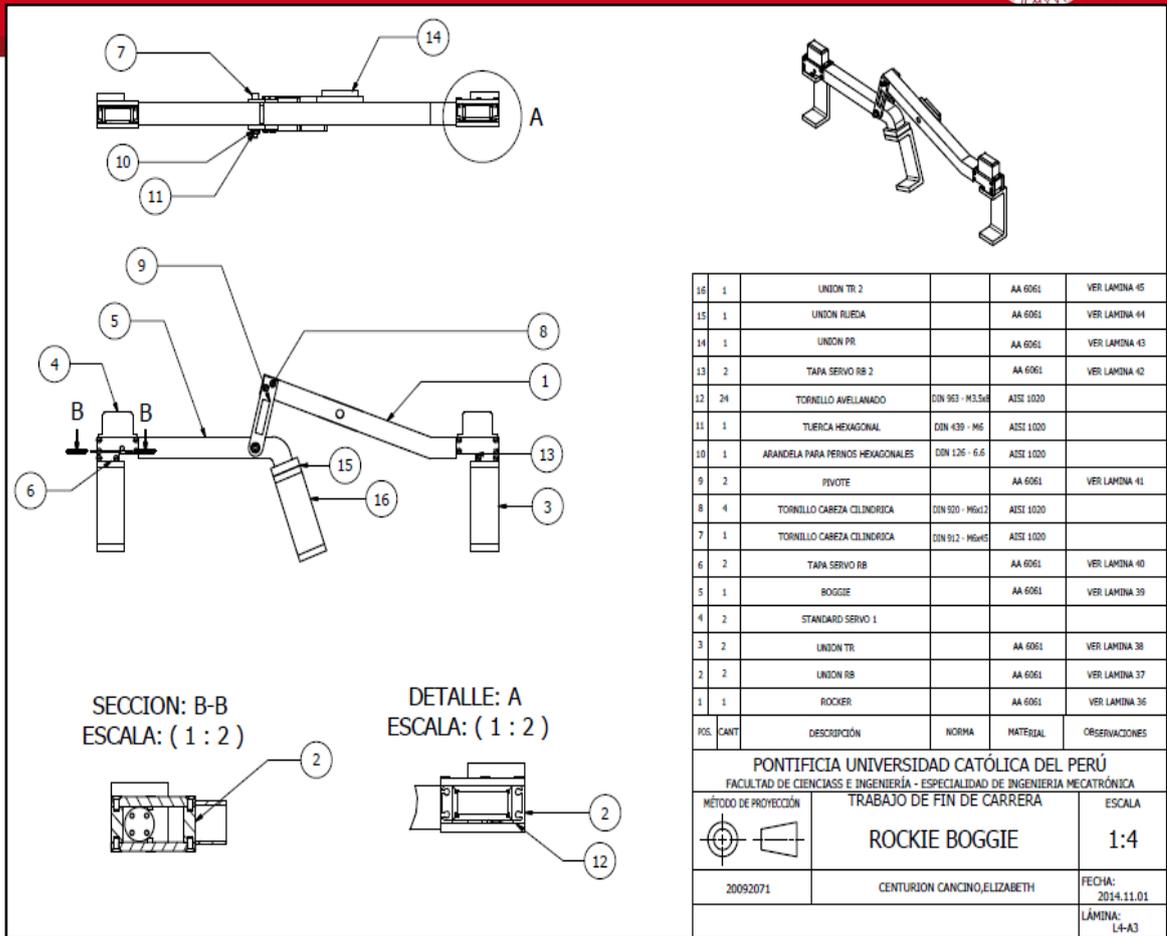


Figura 3.3.24: Plano del ensamble rocker – boggie (L4)
Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.3.25 se muestra el plano de la pieza llamada rocker o balancín llamada así debido a que brinda un movimiento libre de balanceo capaz de subir o bajar por algún obstáculo. Estará fabricada utilizando perfiles cuadrados de aluminio AA 6061 y unida a la pieza boggie por medio de un pivote.

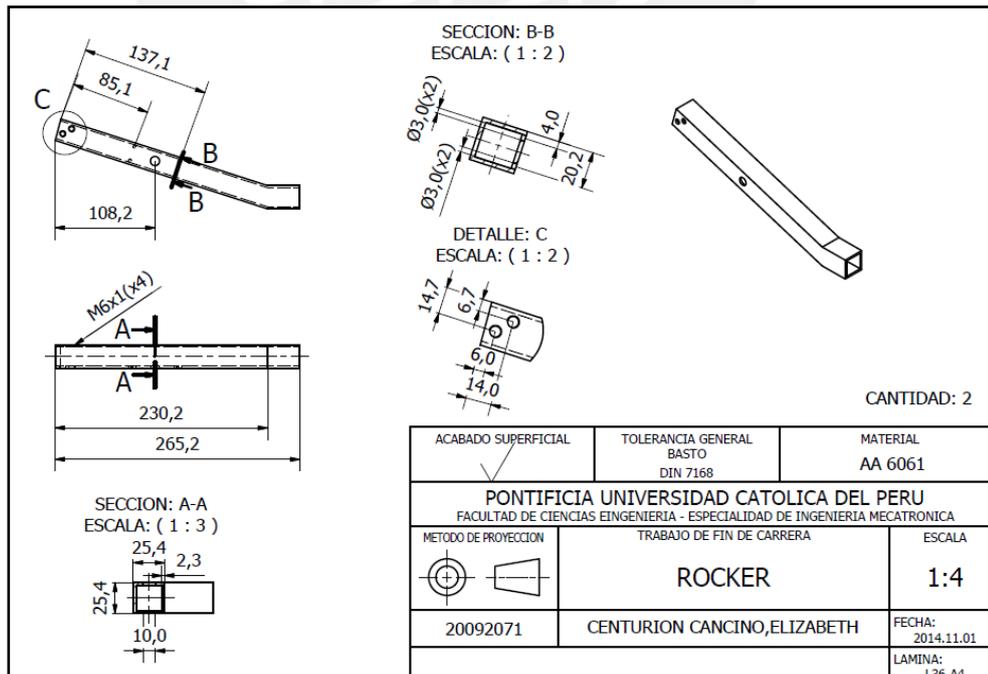


Figura 3.3.25: Plano de la pieza rocker (L36)
Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.3.26 se muestra el plano de la vista superior y lateral de la pieza Unión RB (A). Unirá el rocker a la pieza Unión TR encargada de acoplar las ruedas al sistema y soportar a los servomotores de dirección. También se muestra el plano de la vista frontal e inferior de la unión TR (B) que como se mencionó líneas anteriores acopla las ruedas al sistema, sostiene el servomotor de tracción y por medio de un acople se une al servomotor de dirección. Ambas piezas serán fabricadas de aluminio AA 6061 y unidas entre si por soldadura de arco.

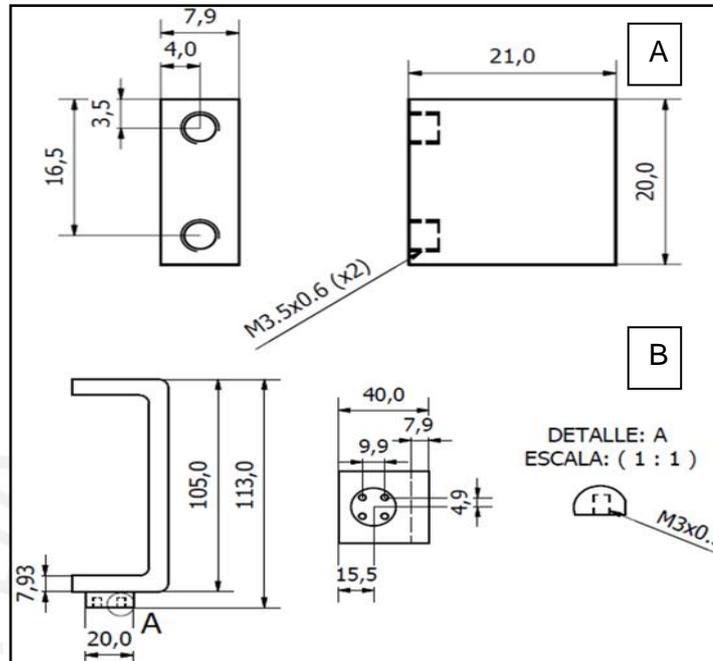


Figura 3.3.26: Planos de las piezas Unión RB y Unión TR (L37 y L38)
Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.3.27 se muestra el plano de la pieza llamada bogie, encargada de mantener las 2 ruedas que se unen a ella en la superficie del terreno y así darle estabilidad al prototipo. Será fabricada utilizando perfiles cuadrados de aluminio AA 6061 y unida a la pieza rocker por medio de un pivote.

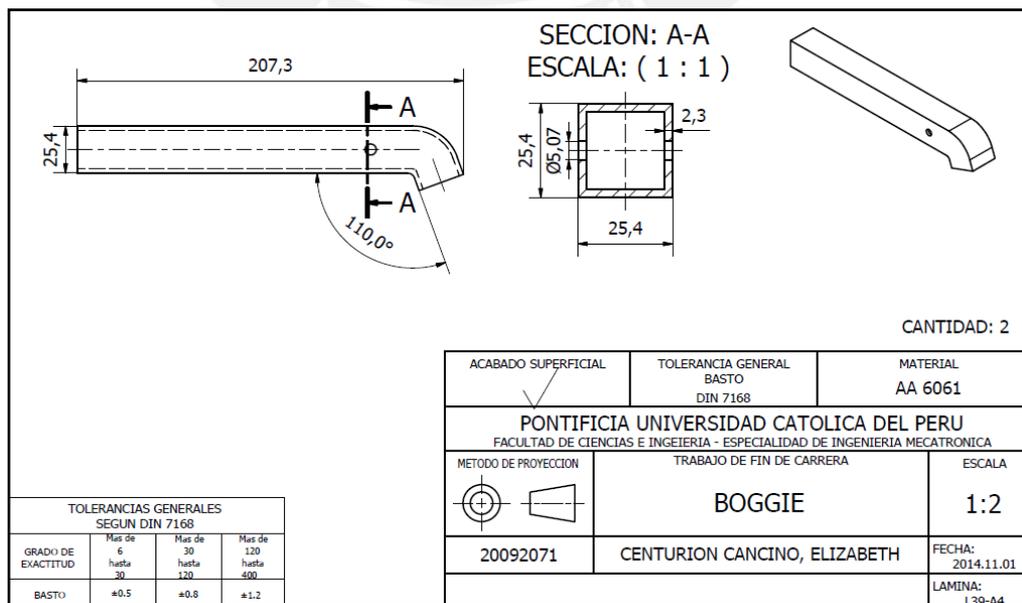


Figura 3.3.27: Plano de la pieza bogie (L39)
Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.3.28 se muestra el plano de la pieza pivote que, la cual unirá al rocker y bogie y permitirá el giro independiente de estos. También será fabricada de aluminio.

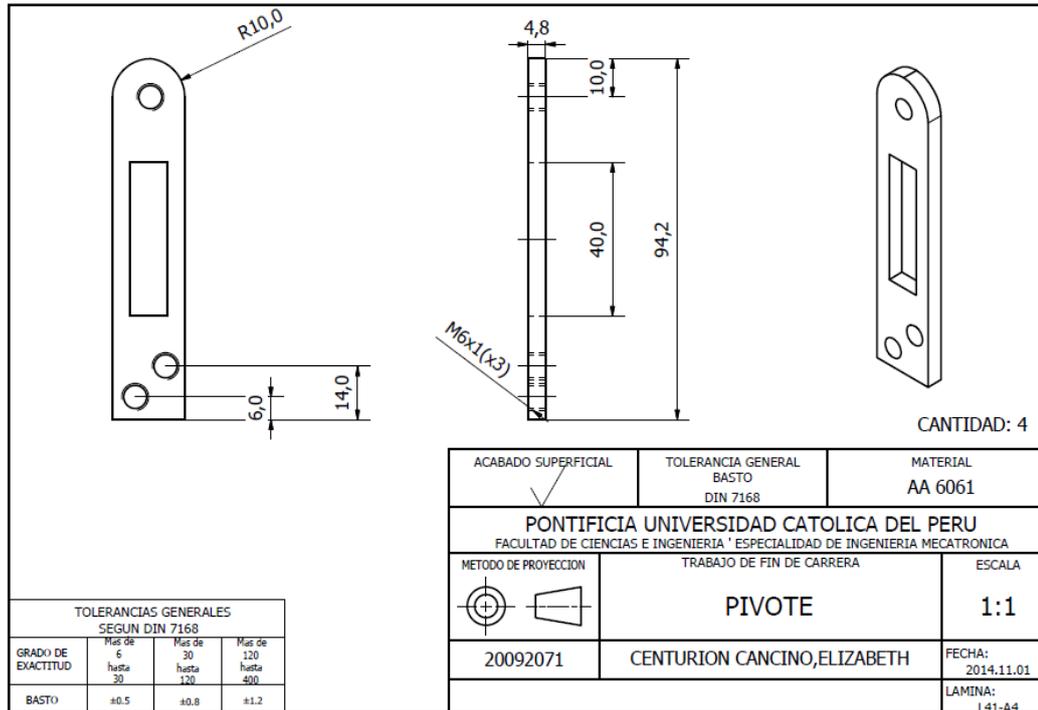


Figura 3.3.28: Plano de la pieza pivote (L41)
Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.3.28 se muestra el plano de la pieza tapa servo la cual servirá para unir dos piezas Unión TR por medio de tornillos y a la vez sostener al servo. También se empernará a la barra 1 para unirse al sistema dosificador – surcado, esto permitirá sostener la base y evitar un posible balanceo.

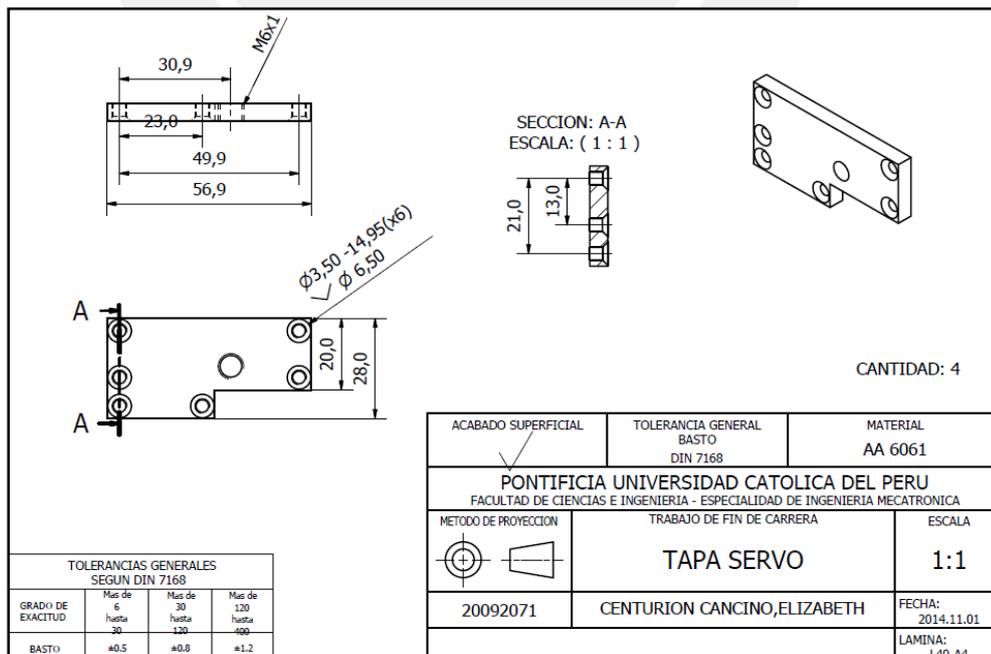


Figura 3.3.28: Plano de la pieza tapa servo (L40)
Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.3.29 se muestra el plano de la pieza tapa servo 2 la cual cumple la misma función que la pieza mencionada anteriormente solo que esta es colocada hacia el exterior por lo tanto no será empernada con la pieza barra 1.

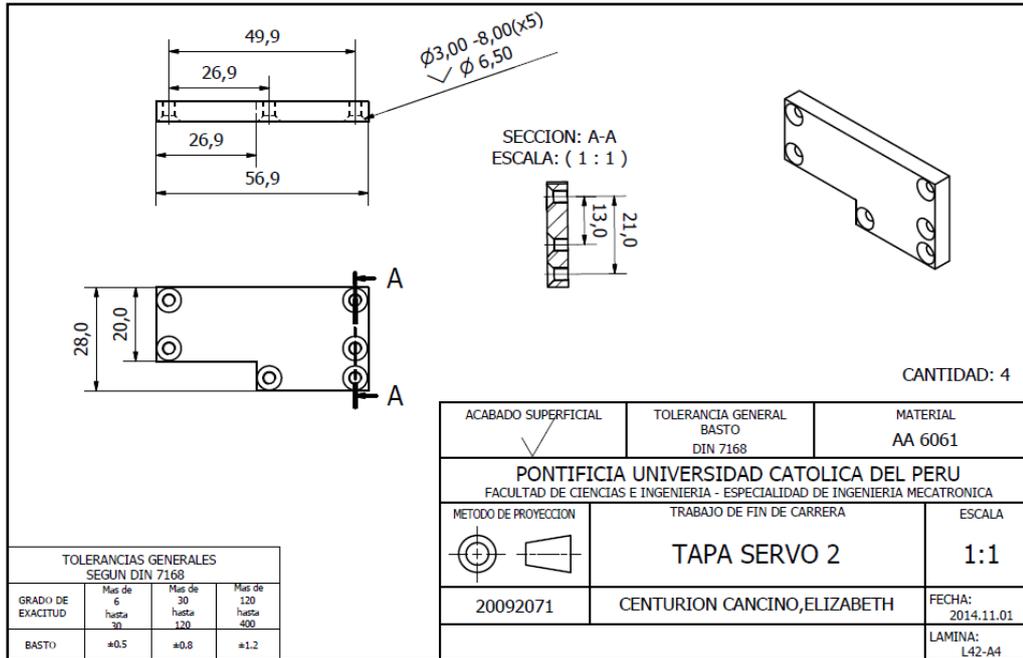


Figura 3.3.29: Plano de la pieza tapa servo 2 (L42)
Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.3.30 se muestra la pieza Unión PR, la cual será la encargada de unir al rocker – boggie con el sistema dosificación – surcado por medio del eje2. Será fabricada por medio de impresión 3D con material ABS.

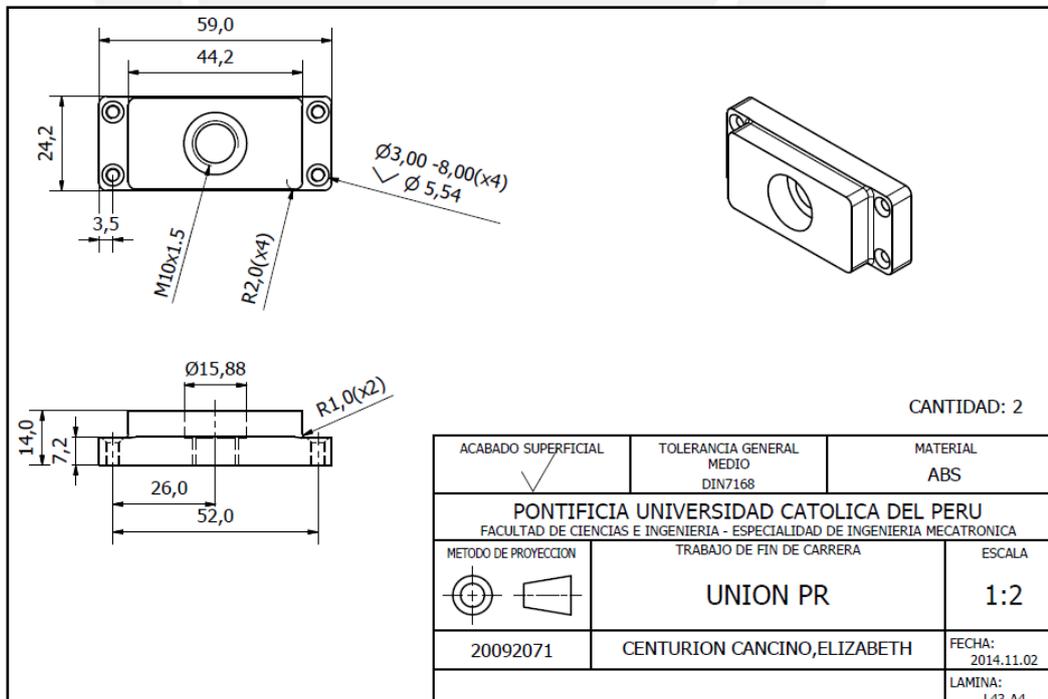


Figura 3.3.30: Plano de la pieza Unión PR
Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.3.31 se muestra el plano de la vista lateral y superior de la pieza Unión TR 2 (A), la cual cumple la misma función que la pieza Unión TR, mencionada anteriormente excepto que la rueda que une se encuentra en el medio de la unión rocker-boggie por lo tanto no debe girar y no posee servomotor de dirección a cual unirse. También se muestra el plano frontal y superior de la pieza Unión Rueda la cual ira soldada a la pieza Unión TR 2 para unirse al boggie del ensamblaje.

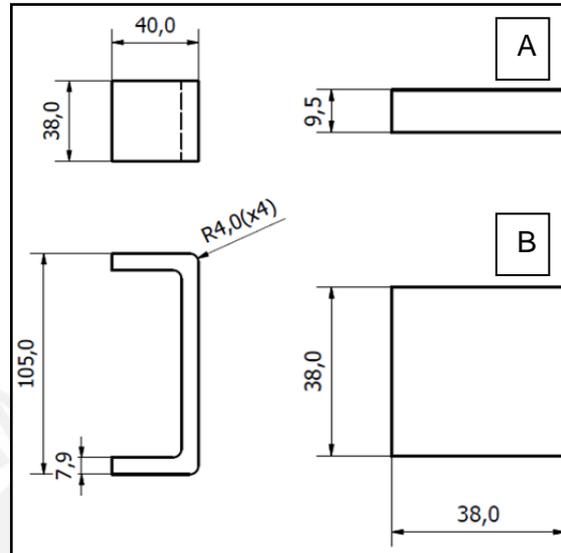


Figura 3.3.31: Planos de la vista lateral y superior de la pieza Unión TR 2 y de la vista frontal y superior de la pieza Unión Rueda (L45 y L44)

Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.3.32 se muestra el plano de la vista frontal y superior del parante 1 (A) encargado de soportar al eje2 de la estructura rocker – boggie. También se muestra el plano de la vista frontal y superior del parante 2, el cual sostendrá a la pieza unión lados (diferencial), y así permitir que cada lado del prototipo pueda superar obstáculos independientemente. Estarán hechos de aluminio AA 6061.

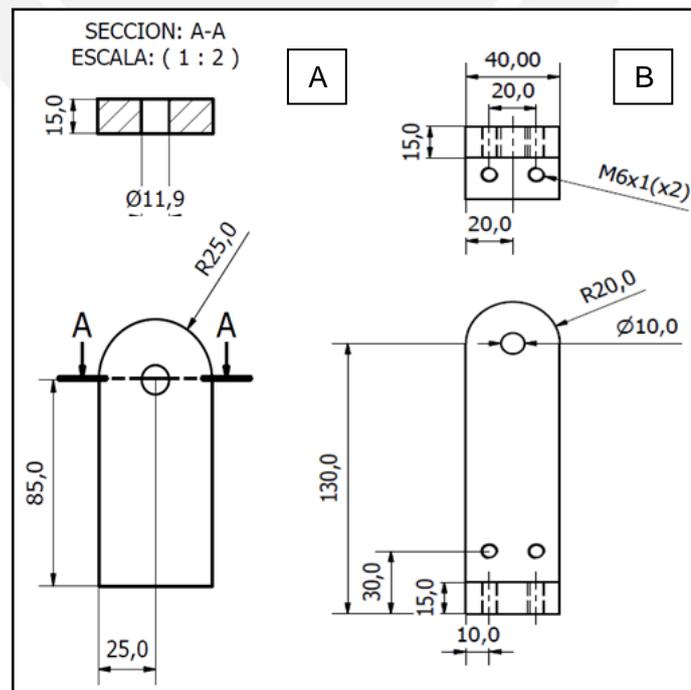


Figura 3.3.32: Planos de las vistas frontal y superior del parante 1 y parante 2 (L3 y L8)

Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.3.33 se muestra el plano de los sujetadores que ayudan a unir a los parantes con la base del prototipo, el sujetador 1 (A) une a los parantes 1 y el sujetador 2 (B) al parante 2. Estarán hechos de aluminio AA 6061.

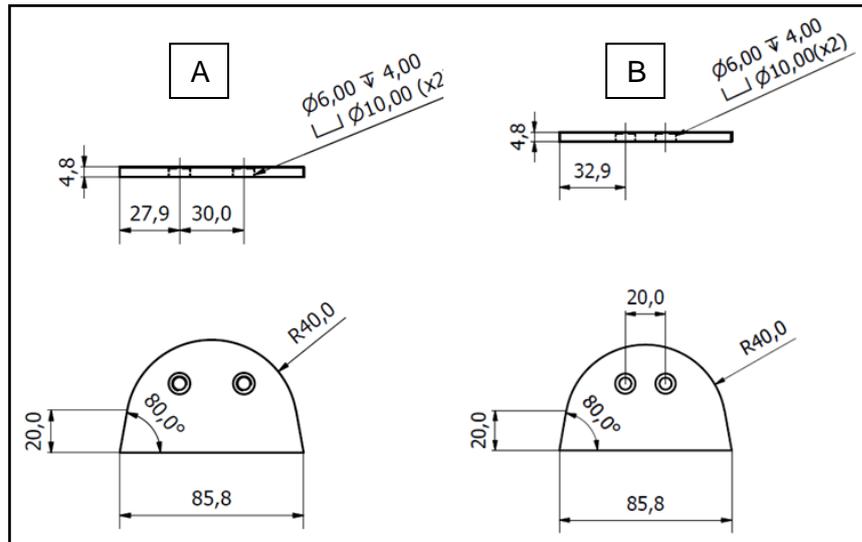


Figura 3.3.33: Planos de la vista frontal y superior del sujetador 1 y 2 (L7 y L53)
Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.3.34 se muestra el plano de la barra 1, la cual se encargara de unir al parante 2 con los ensambles rocker – boggie de cada lado, el cual permitirá sostener la base. Estará hecho de aluminio AA 6061.

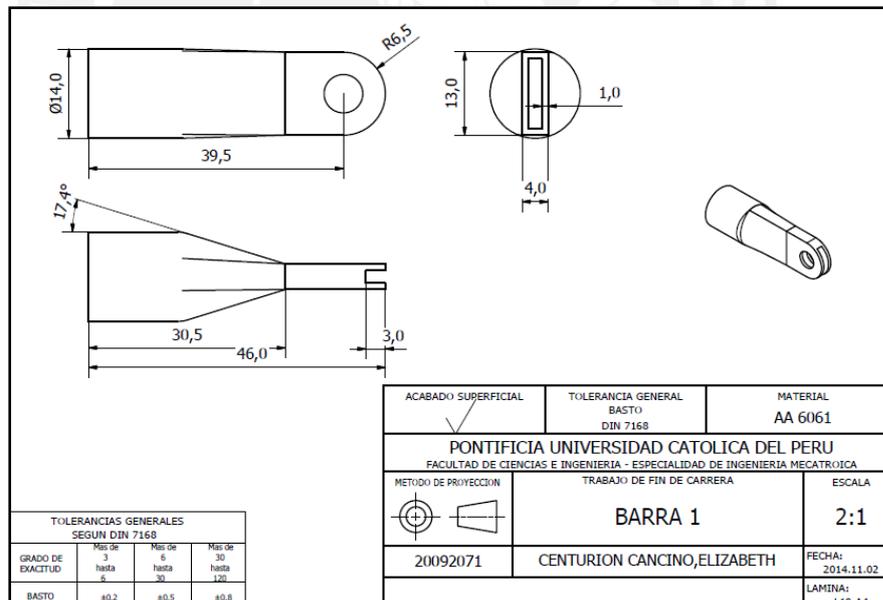


Figura 3.3.34: Plano de la pieza barra 1 (L10)
Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.3.35 se muestra el plano de la pieza unión lados, la cual permitirá unir los rocker – boggie de cada extremo así como también permitirá el movimiento diferencial entre extremos, el cual hare que mientras un extremo sube el otro baje. Estará fabricada de aluminio AA 6061. En la figura 3.3.36 se muestra el plano de la pieza eje 2 que también une los rocker – boggie de cada extremo, dándole mayor estabilidad.

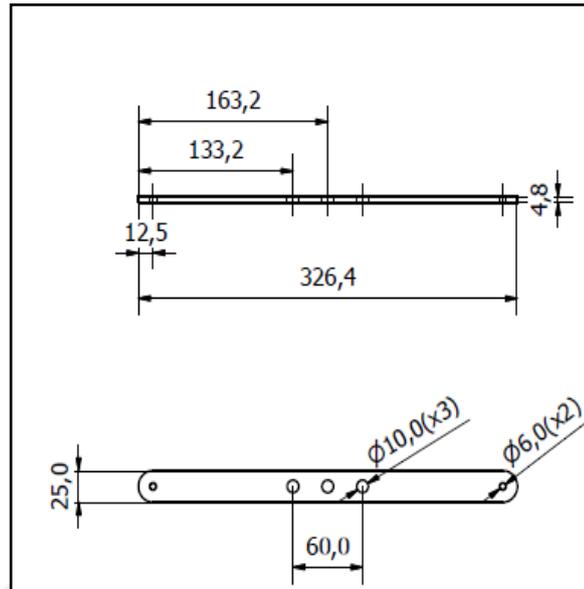


Figura 3.3.35: Plano de la vista lateral y frontal de la pieza unión lados (L9)
Fuente: Elaboración propia

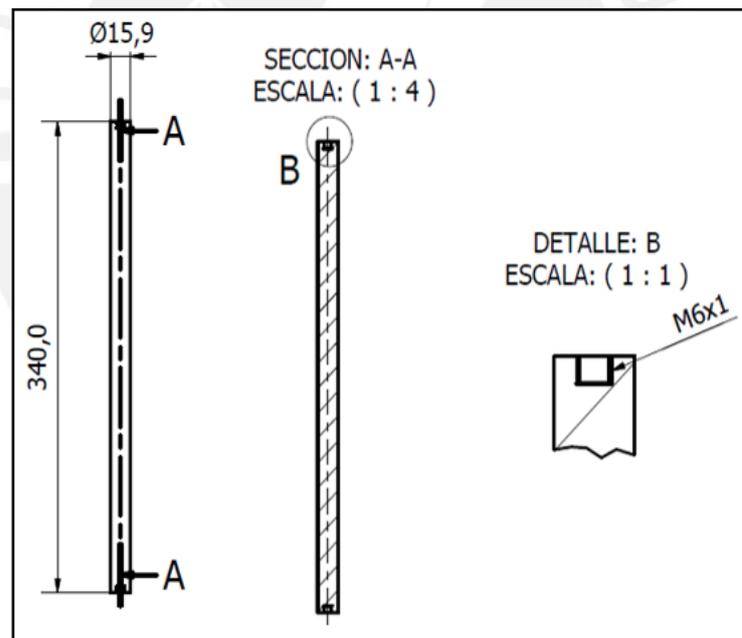


Figura 3.3.36: Plano de la vista frontal del eje 2 (L5)
Fuente: Elaboración propia

3.4 Diagramas esquemáticos de los circuitos del sistema mecatrónico (las páginas necesarias)

3.4.1 Arduino Mega

Como se mencionó en el punto 3.2 el control central estará a cargo de la plataforma de hardware libre Arduino de modelo Mega. En la figura 3.4.1 se muestra su esquemático. Esta plataforma cuenta con 54 entradas digitales, de las cuales 13 son para señales PWM y de ellas se utilizarán 12 en total para controlar todos los servomotores. También cuenta con 4 juegos para entradas serial (Tx/Rx) desde los pines 14 a 19 y los pines 1 y 2, de los cuales se usará un juego para la comunicación con el GPS y como se mencionó anteriormente su conexión será directa. Además cuenta con 1 juego de puertos, SDA y SCL en los pines 20 y 21 respectivamente, para permitir comunicación I²C, el cual será utilizado para la comunicación con el módulo LSM303D. Para poder usar este último tipo de comunicación será necesario incluir la librería Wire al momento de iniciar la programación del Arduino.

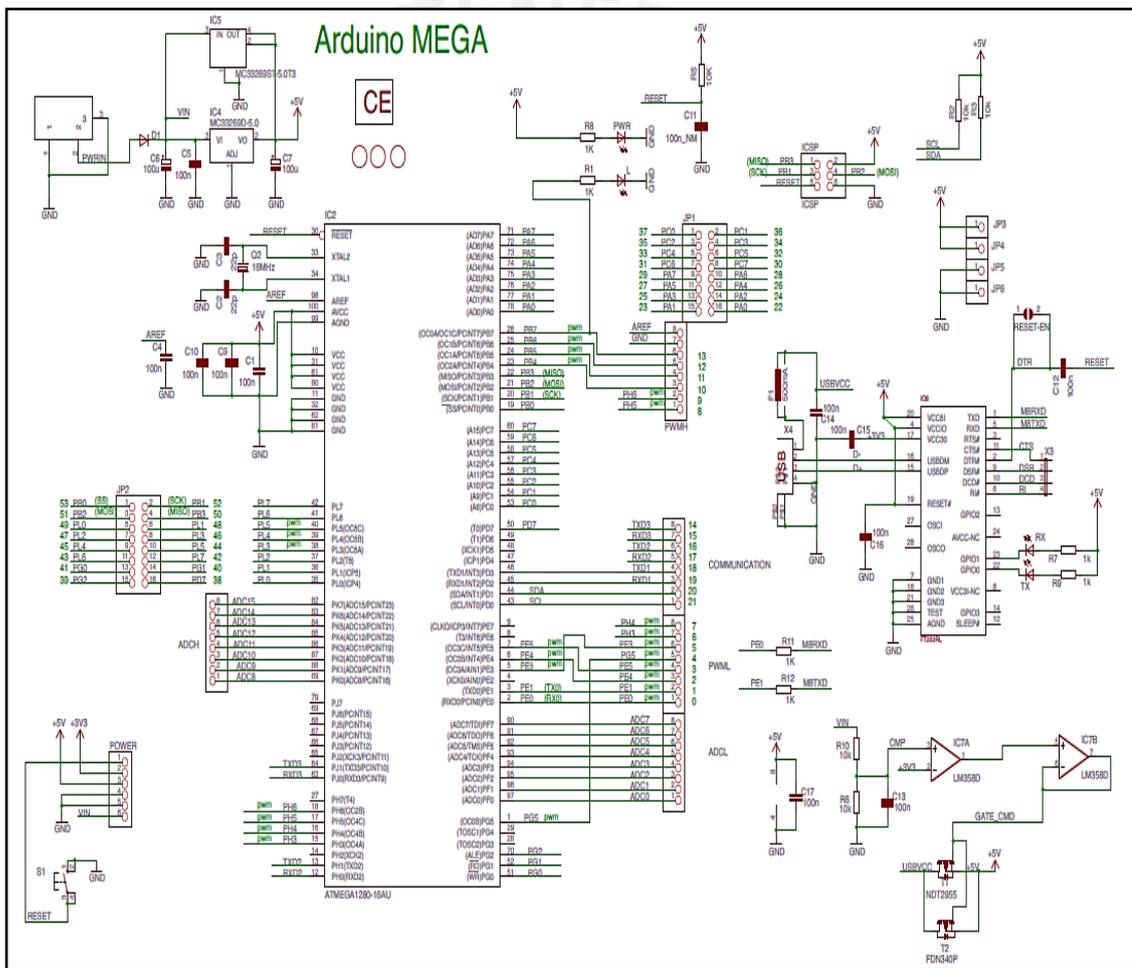


Figura 3.4.1: Esquemático Arduino mega
Fuente: [11]

El Arduino mega está basado en el ATmega1280, el cual posee una memoria flash de 128 KB, 8 KB de SRAM y 4 KB de EEPROM. Además se le puede alimentar vía USB, pero en este proyecto como se mencionó en el punto 3.2, el Arduino será alimentado por una fuente de energía externa.

3.4.2 Circuito de alimentación

En la figura 3.4.2 se muestra el esquemático para la regulación de voltaje de 7.8 V a 5 V. Se está utilizando un diseño de fuente con un transistor tipo Darlington, ya que la corriente base en el transistor de potencia puede llegar a ser grande y el chip LM317 posee un límite de 1.5A. El transistor Darlington permite una conducción muy por encima de la que permite cualquier transistor PNP de uso común. Los capacitores funcionan como filtro para eliminar cualquier perturbación que se pueda dar en el voltaje. Este diseño podría proporcionar corrientes tan altas como 10 amperios.

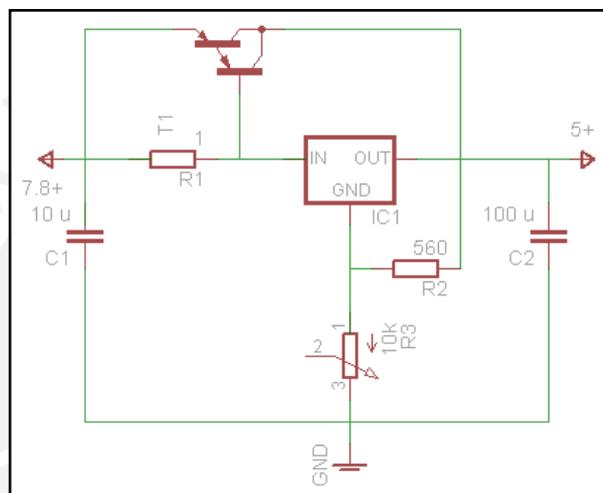


Figura 3.4.2: Esquemático fuente con transistor tipo Darlington 5V/5A
Fuente: [33]

En la figura 3.4.3 se muestra el esquemático para la regulación de voltaje de 9.9V a 3V, la cual es necesaria para alimentar el módulo LSM303D y el GPS. Se realizó el diseño de una fuente lineal con el integrado LM317, debido a que nos ofrece una respuesta dinámica rápida y los elementos a alimentar no necesitan alta potencia.

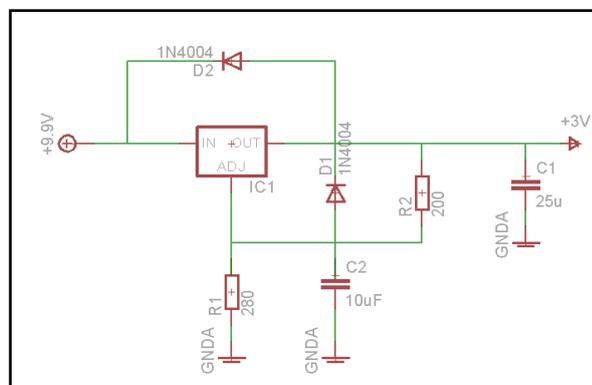


Figura 3.4.3: Esquemático fuente lineal 3V
Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.4.4 se muestra el esquemático de los componentes extras al módulo LSM303D (GPS) que contiene la tarjeta a utilizar. Este incluye el regulador de voltaje que permite a la tarjeta obtener energía de una sola fuente de alimentación 2,5 a 5 V, aunque si solo se desea utilizar el pin 3.3 V porque ya se cuenta con una fuente reguladora como es nuestro caso, se desconecta el pin VIN. También cuenta con el circuito de nivel - shifter que permite la comunicación I²C y SPI al mismo nivel de tensión lógica como VIN.

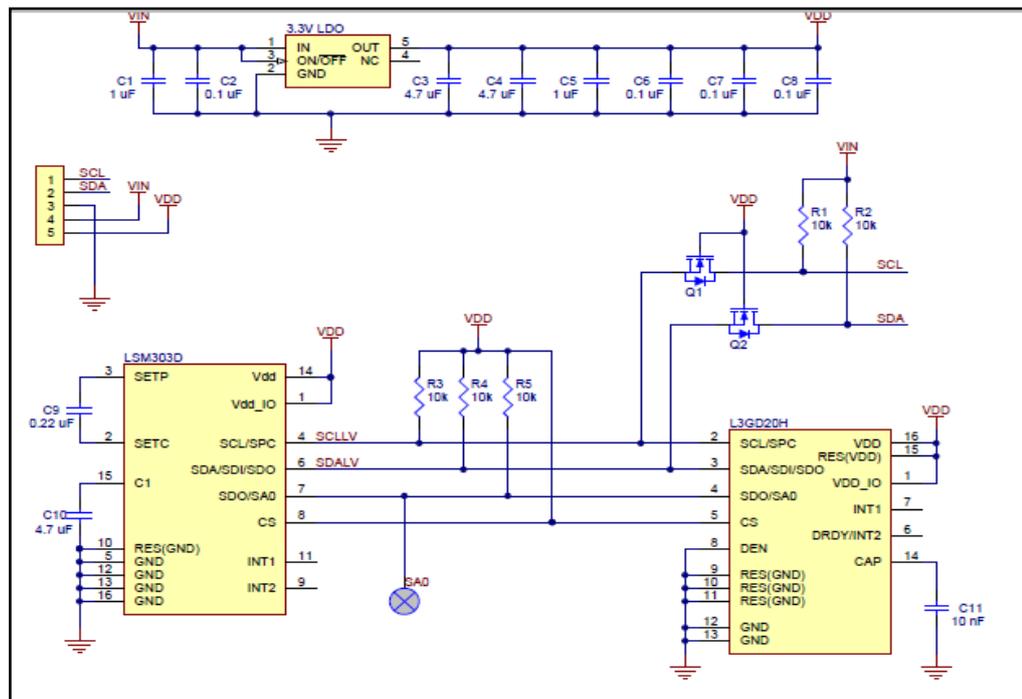


Figura 3.4.4: Esquemático de la tarjeta MinIMU
Fuente: [12]

En la figura 3.4.5 se muestra el esquemático total, donde se muestra como irían conectados los demás elementos al Arduino Mega. Las letras hacen referencia a las siguientes partes:

- A. Regulación de voltaje 9.9 V a 3V
- B. Regulación de voltaje 7.8 V a 5V
- C. Conexión del total de servomotores
- D. Conexión del módulo XBee
- E. Conexión del GPS
- F. Conexión del sensor MinIMU
- G. Conexión pantalla LCD
- H. Conexión teclado matricial
- I. Conexión Wireless proto shield

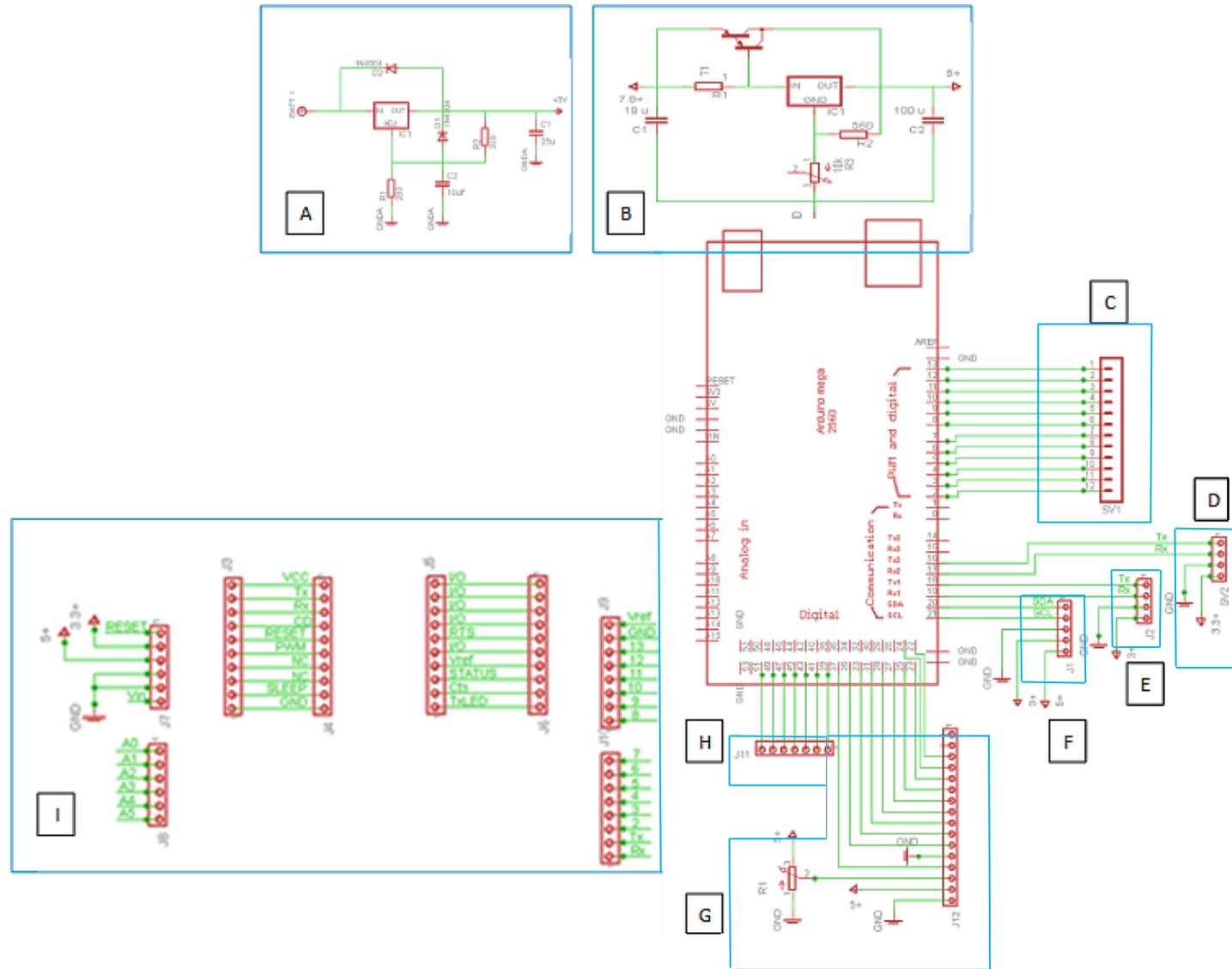


Figura 3.4.5: Diagrama esquemático general
 Fuente: Elaboración propia

3.5 Diagrama de flujo del programa de control

3.5.1 Diagrama de bloques

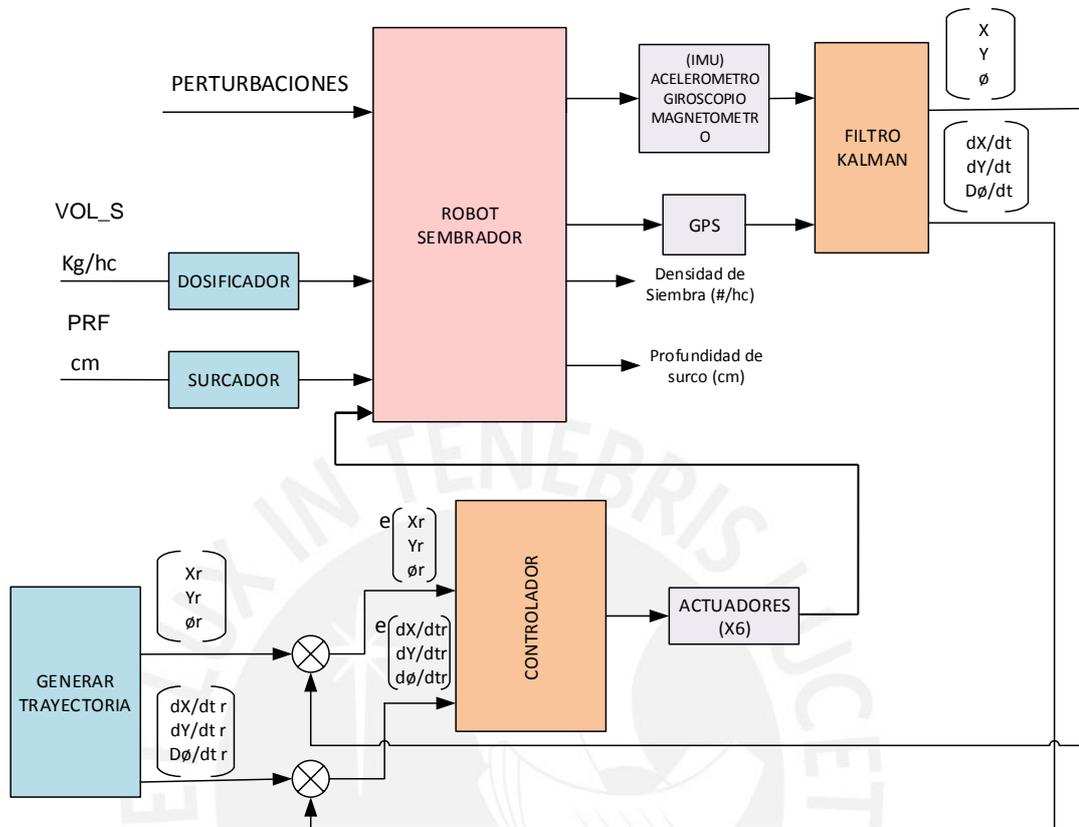


Figura 3.5.1: Estructura de control del sistema mecatrónico
Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.5.1 se muestra la estructura de control planteada para el sistema mecatrónico, en la cual se puede identificar que está compuesta por:

- Dos lazos abiertos para el subsistema de dosificación y de surcado.
- Un lazo cerrado para el subsistema de navegación y control, el cual consiste en la estimación de la posición y la velocidad, a través de la aplicación del filtro Kalman, y el control de la velocidad y posición, a través de la generación de error (tomando en cuenta valores de referencia) y utilizando un controlador PID

3.5.2 Diagrama de flujo

A continuación se detallará en qué consiste cada etapa de la estructura de control planteada.

En la figura 3.5.2 se muestra el diagrama de flujo principal del sistema mecatrónico. El sistema preguntará si se tiene la trayectoria guardada, caso afirmativo da paso al subsistema de interacción con el usuario, el cual recepcionará y validará los datos ingresados para después empezar con el control de siembra, etapa que seguirá la estructura planteada en la figura 3.5.1 y caso contrario le pedirá al usuario que debe generar primero una trayectoria.

Se deberá girar el plano para ubicar el P1 (punto rojo) y el P4 en el eje X, tal y como indica la dirección del eje en la figura 3.5.4 para poder facilitar los cálculos. Al ya tener los puntos guardados en coordenadas cartesianas estos serán cambiados a coordenadas geodésicas y guardados en la memoria EEPROM del Arduino.

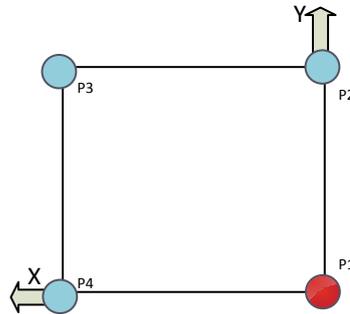


Figura 3.5.4: Orden de los waypoints
Fuente: Elaboración propia

El formato de los datos de cada punto de la ruta contiene 2 tipos de valores (latitud y longitud), los cuales tienen un tamaño de 4 bytes cada uno, se tendrá 8 bytes por punto y tomando en cuenta los valores de memoria del Arduino mega mostrados en el capítulo 2, se eligió utilizar la memoria EEPROM la cual solo albergará datos de la ruta.

Para generar la trayectoria se seguirá la siguiente lógica:

1. Unir el punto inicial P1 con el P2 y dividir la distancia en 3 m, con lo cual se obtiene acerca de 10 puntos (i), cantidad de filas que deberá recorrer. Unir el P2 con el P3 y dividir entre 80 cm, con lo cual se obtiene la cantidad de columnas (n) que deberá recorrer.
2. El número de fila empieza siendo 0 (par), para esto se usará una variable auxiliar "nf", lo cual indica que deberá subir; si es impar indica que debe bajar.
3. Inicia su recorrido cambiando la ubicación en la coordenada Y (hacia arriba), debido a que el ángulo entre su dirección y el eje Y es 90° ; es decir la coordenada X no cambia, solo la coordenada Y. Lo cual se hace evidente por el valor de la tangente de dicho ángulo, la cual es calculada como la posición en Yt menos la posición en Y un instante anterior Yt-1, sobre sus respectivos valores en X.
4. Una vez que indica que llegó a su último punto (entre los 10) significa que ahora ya no varía Y lo único que cambia es la coordenada X, debido a que el ángulo entre su dirección y el eje Y es 0.
5. Si ya tomó su nuevo punto inicial entonces avanza 80 cm y si el número de vueltas es impar o par sabrá si la línea que sigue es hacia abajo o hacia arriba. Para el conteo de columnas usará la variable "nc".
6. Sabrá que finalizó su recorrido porque comparará si ya se recorrió el total de columnas que se calculó al inicio.

En la figura 3.5.5 se muestra el diagrama de flujo de la lógica planteada para generar la trayectoria.

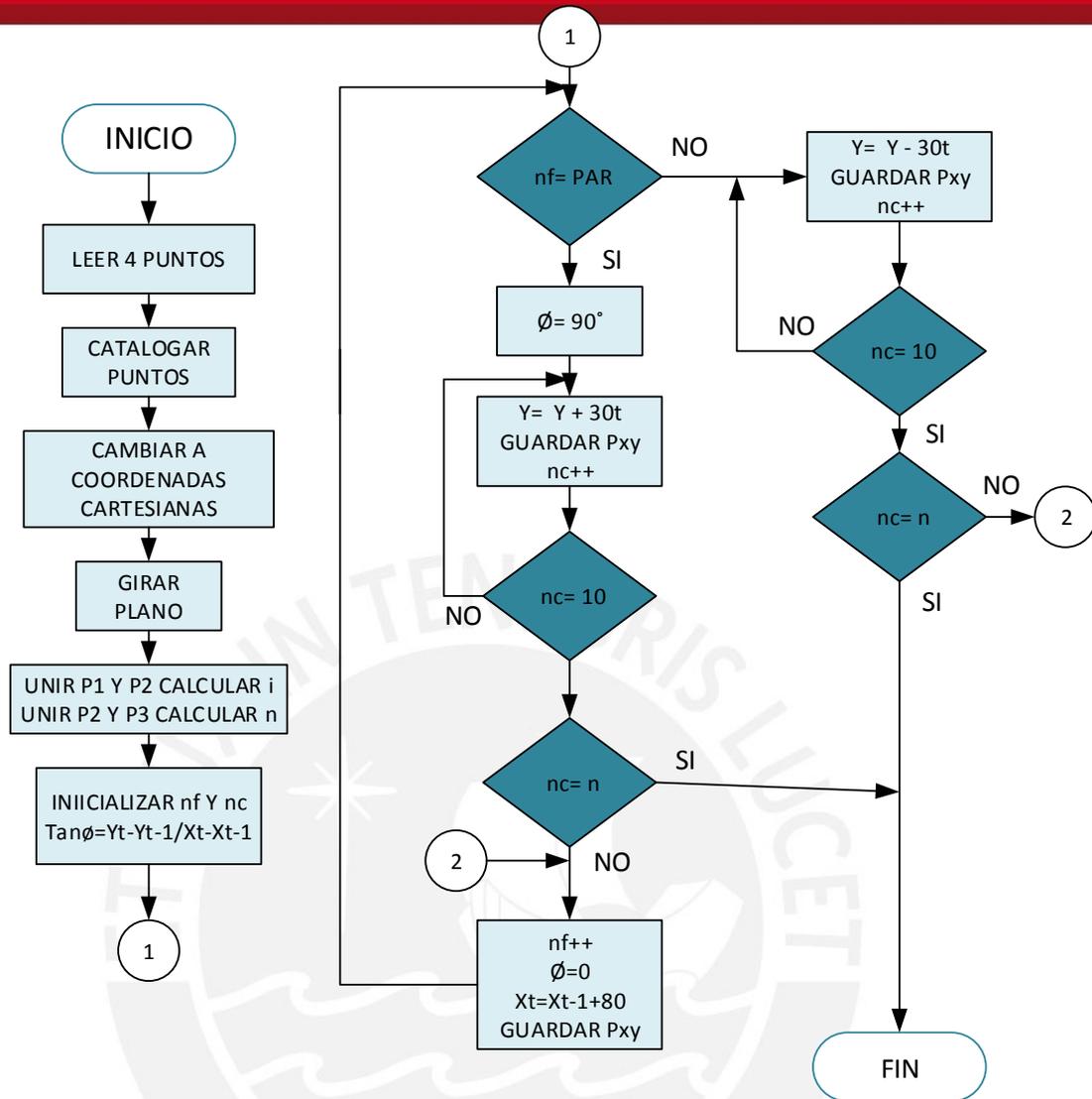


Figura 3.5.5: Diagrama de flujo de la generación de ruta
Fuente: Elaboración propia

Ingreso y validación de datos

En la figura 3.5.6 se muestra el diagrama de flujo del proceso de ingreso y validación de datos, el cual mostrará un mensaje en la pantalla LCD pidiendo al usuario que primero ingrese el valor de la profundidad (cm) el cual deberá estar entre 1 a 3 cm si esto no sucede le volverá a pedir el dato al usuario y repetirá esta acción hasta que el dato de profundidad sea correcto. Después mostrará el mensaje pidiendo el dato de densidad de siembra (kg/ha), el cual también deberá estar entre 1 a 3 kg (máxima capacidad de la tolva) y si esto no sucede, al igual que la validación de profundidad, volverá a pedir el dato de entrada hasta que este sea válido.

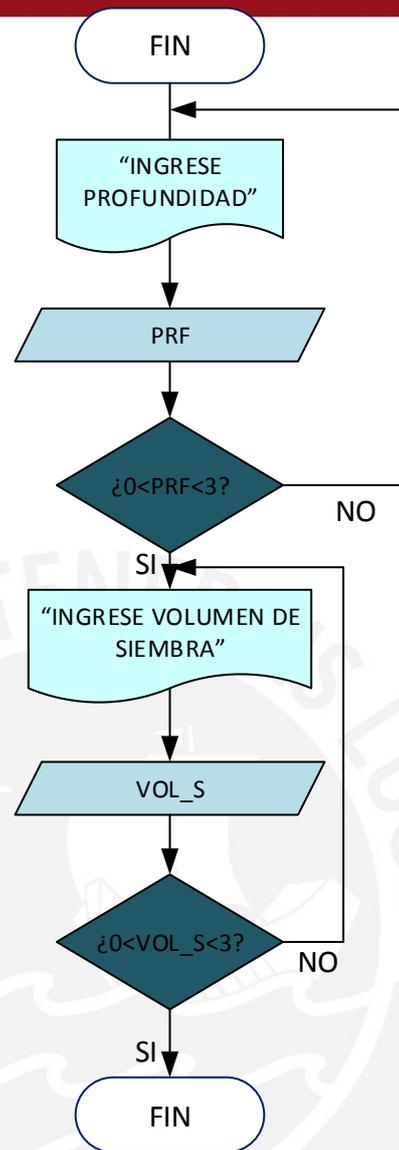


Figura 3.5.6: Diagrama de flujo de ingreso y validación de datos

Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.5.7 se muestra el diagrama de flujo del proceso control de sembrado que integra las tres subrutinas importantes del sistema mecatrónico, la subrutina i) surcador, encargada de realizar los surcos, la cual se ejecuta primero ya que no se puede dosificar semillas en la tierra sin que esta tenga las líneas de surcos, ii) dosificador, encargada de dosificar las semillas de quinua, y es anterior a la navegación porque la siembra debe ser continua, por lo tanto el móvil no puede desplazarse sin que antes el prototipo no haya empezado la dosificación de semillas, y por último iii) la navegación, encargada del desplazamiento del prototipo.

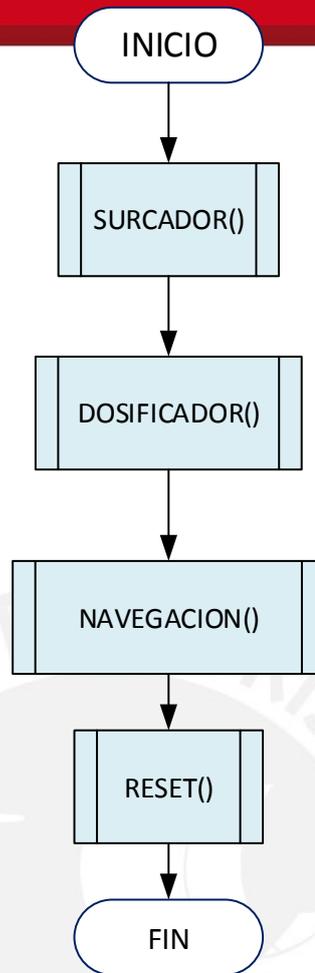


Figura 3.5.7: Diagrama de flujo del proceso de control de sembrado
Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar en estructura de control (figura 3.5.3), las etapas de dosificación y surcado se desarrollan en lazo abierto mientras que la etapa de navegación, se dará en lazo cerrado.

Surcador y Dosificador

En la figura 3.5.8 se muestra el diagrama de flujo del proceso surcador, en este se relaciona el dato de profundidad de siembra (PRF) con el ángulo que debe girar el servomotor usando la fórmula indicada en dicho bloque. El cálculo de la fórmula se indica en el Anexo 6.

En la figura 3.5.9 se muestra el diagrama del proceso dosificador, en este se relaciona el dato de densidad de siembra (Vol_S) con el ángulo que debe girar el servomotor para aperturar los huecos por donde se desplazará las semillas de quinua. Dicha relación está dada por la fórmula indicada en dicho bloque. El cálculo de la fórmula se indica en el Anexo 6.

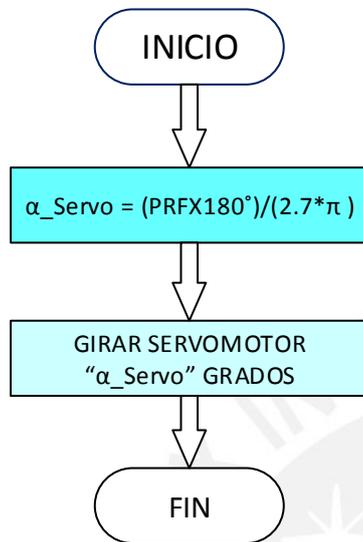


Figura 3.5.8: Diagrama de flujo del Control de surcado
Fuente: Elaboración propia

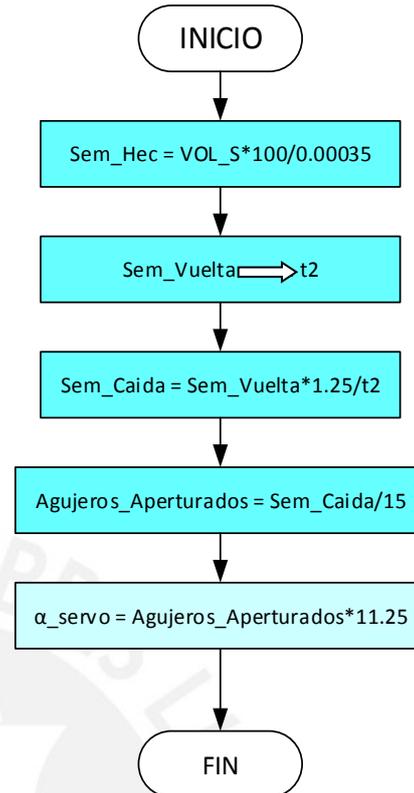


Figura 3.5.9: Diagrama de flujo del control dosificador
Fuente: Elaboración propia

Navegación y Control

Para esta etapa se está usando la lógica de “sensor fusión”, la cual será explicada más adelante, que está siendo utilizada en diferentes proyectos trayendo resultados esperados. Esta lógica demuestra que mientras más sensores fusionados tengamos el error va reduciéndose llegando a obtener medidas en escala de mm, en muchos casos [13]. Como se ve en la figura 3.5.1, esta etapa se realizará con un control a lazo cerrado, el cual tendrá las siguientes etapas:

- Obtener datos de sensores
- Localización (estimar posición y velocidad)
- Determinar error
- Controlar posición y velocidad (controlador servomotores).

Dichas etapas se muestran en el diagrama de la figura 3.5.10, donde la etapa central es el movimiento semiautónomo el cual se programa en el Arduino. Dicho sistema incluye una función para generar la trayectoria, controla el seguimiento (obteniendo datos de la localización del móvil) de la misma, determina el error de la posición para poder así realizar un control de los servomotores. El sistema de localización y control se muestran en bloques separados para un mejor entendimiento de cómo se desarrollan y que sensores utilizan.

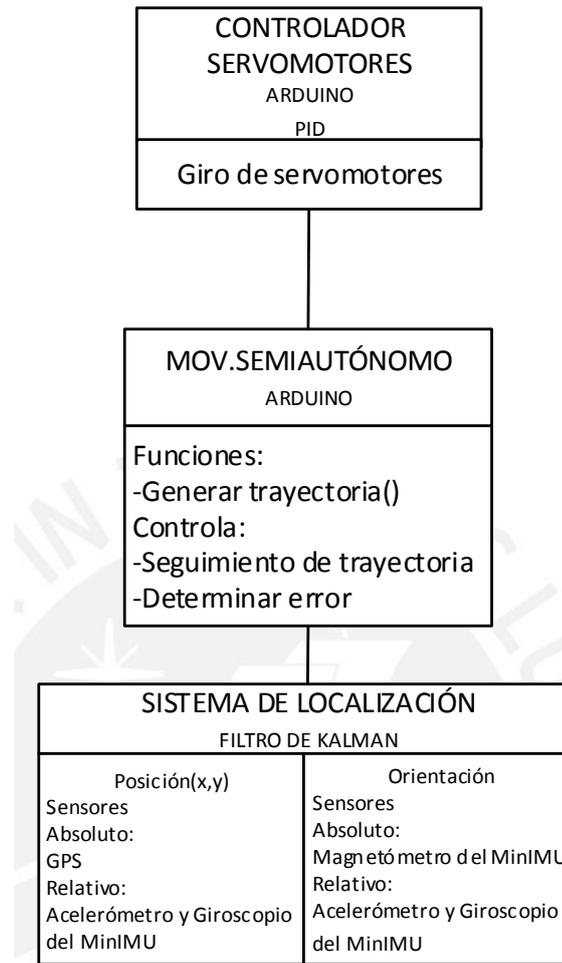


Figura 3.5.10: Diagrama de Bloques funcionales del sistema navegación y control
Fuente: Elaboración propia

Para obtener datos de los sensores, el sensor MinIMU elegido cuenta con las librerías L3GD20 y LSM303, las cuales hace sencilla la interacción entre el MinIMU y el Arduino. Estas librerías permiten configurar los sensores y obtener la data de estos.

La localización describe la habilidad del robot para estimar los valores de posición y velocidad basados en las medidas de los sensores indicados. Los esquemas de localización son generalmente clasificados como relativos o absolutos dependiendo del sensor a utilizar [31].

La localización relativa proporciona la localización por la integración de las mediciones de los sensores del sistema interno. En nuestro caso será por medio del giroscopio y acelerómetro, los cuales permiten una alta precisión para duraciones cortas, dando paso al crecimiento del error en el tiempo. Por lo tanto, no puede ser utilizado como único sistema de localización.

La localización absoluta proporciona una forma en la que un robot pueda obtener información de posicionamiento externa a su modelo de sistema asociada a valores reales como latitud y longitud. En nuestro caso será determinada por el módulo GPS. La ventaja de estos esquemas es que sus mediciones se obtienen sin el uso

de información anterior de los sensores y por lo tanto está limitada a su extravío. Desafortunadamente, estos sistemas dependen en gran medida de la disposición geométrica de los puntos de referencia en relación con el robot. Si la colocación de puntos de referencia no es óptima, la precisión de este tipo de sistemas disminuye rápidamente.

Analizando las ventajas y desventajas se puede concluir que la unión de estos dos tipos de sensores es la técnica ideal para la localización, técnica conocida como “fusión de sensores” mencionada anteriormente, la cual se podría incluso optimizar en un futuro, incluyendo más tipos de sensores. Esta técnica se llevará a cabo a través del uso del filtro de Kalman.

El filtro de Kalman, que será implementado en el Arduino, permite identificar el estado no medible de un sistema dinámico lineal aun cuando esté sometido a perturbaciones. Es un algoritmo recursivo, este puede correr en tiempo real usando únicamente las mediciones de entrada actuales, el estado calculado previamente y su matriz de incertidumbre, no requiere alguna otra información pasada adicional. Está conformado por dos etapas, la primera es la de estimación y la segunda es la predicción. Lo que primero se realiza es una estimación del estado y covarianza “a priori”, para después con estos datos poder hacer una predicción de la medición y covarianza. Con una nueva medición recibida, en este caso por el GPS se calcula la innovación de la medición y la innovación de la covarianza, para luego calcular la matriz de ganancia de Kalman, la cual garantiza una covarianza lo menor posible. Con esta matriz se actualizan los estados estimados y la covarianza (estado “a posteriori”).

Una vez que se obtiene los estados estimados a posteriori, estos entran a la etapa de control, donde se utilizará un controlador PID, el cual con los datos de referencia (datos de trayectoria), calculará el error para aplicar una acción correctora al proceso, en este caso se enviará señales de corrección a los servomotores de dirección. El algoritmo de control PID se da en tres parámetros distintos: proporcional, integrador y derivativo, cuyas ganancias determinarán el comportamiento del controlador. Para la programación de controladores PID. Arduino cuenta con librerías ya creadas [23].

Capítulo 4

Presupuesto

En este capítulo se presentará la inversión que se necesita para la implementación del proyecto. En la tabla 5-1 se muestra el presupuesto final que incluye el de los componentes electrónicos y los componentes mecánicos, para el cual se consideró un tipo de cambio de 2.9 y cuyas tablas específicas serán mostradas más adelante.

Tabla 4-1: Presupuesto total del sistema mecatrónico

	Precio en US\$	Precio en PEN
Componentes Mecánicos	1320.51	3829.50
Componentes Electrónicos	961.85	2789.36
TOTAL	2282.36	6679.86

En la tabla 4-2 se muestra la inversión necesaria para la fabricación de las piezas mecánicas, lo cual incluye el material y la mano de obra.

Tabla 4-2: Presupuesto de componentes mecánicos

	PIEZA	CANTIDAD	PROVEEDOR	P.UNIT PEN	P.TOTAL PEN
Fabricación de piezas			Taller W.Chauca		1760.00
Fabricación de piezas			Taller Kevin		605
Ruedas 15cm		6	C.Peceros	13	78
Tornillos Hexagonales M10		2	M.P.Capeva	0.2	0.4
Tornillos Hexagonales M6		12	M.P.Capeva	0.1	1.2
Pernos Hexagonales M6x30		4	M.P.Capeva	0.2	0.8
Pernos Hexagonales M10x30		4	M.P.Capeva	0.3	1.2
Arandelas Planas 7116		2	M.P.Capeva	0.1	0.2
Arandelas Planas M12		4	M.P.Capeva	0.1	0.4
Perno Soc Flat M3x10		8	M.P.Capeva	0.3	2.4
Perno Soc Flat M3x8		24	M.P.Capeva	0.3	7.2
Perno Soc M6x12		2	M.P.Capeva	0.2	0.4
Perno Soc M6x45		2	M.P.Capeva	0.3	0.6
Impresión 3D			Desarrollo 3D Perú		1371.7
			TOTAL		3829.5

En la tabla 4-3 se muestra la inversión necesaria para la adquisición de los componentes electrónicos ya sea de proveniencia local o internacional.

Tabla 4-3: Presupuesto de componentes electrónicos

Componente	Cantidad	Proveedor	P.Unitario PEN	P.Unitario USS	Envío	P.Total USS	Impuesto Aduanero
Arduino Mega	1	Singapur Electronics	200.00			68.25	-
ADXL345	1	Singapur Electronics	98.00			33.44	-
Teclado matricial	1	Singapur Electronics	19.00			6.55	-
Servomotor TowerPro Mg995 13kg	6	Aliexpress		9.73	2.86	181.28	54.34
Servomotor Futaba S3010	4	Aliexpress		30.01			
Servomotor Hitec HS-81	1	hobbiking		14.70	free	37.20	11.16
Bateria LIPO 9.9V	1	hobbiking		11.95			
Wireless proto shield	1	hobbikig		10.55			
LM317	2	Digikey		2.40	100	188.18	56.46
XBee	1	Digikey		22.01			
XStick	1	Digikey		61.37			
GPS LS20031	1	Pololu		49.95	26.45	96.35	28.90
MiinIMU2468	1	Pololu		19.95			
Display LCD 2x16	1	MercadoLibre Perú	14.00			4.82	-
Bateria LIPO 7.8V 10Ah	1	hobbiking				59.36	17.80
Acoples y cremallera		Servocity		35.96	54.00	89.96	26.10
Componentes Varios		Singapur Electronics				1.70	-
TOTAL						767.09	194.76
						961.85	

Capítulo 5

Conclusiones

- Se logró diseñar una solución que optimiza la cantidad de semillas de quinua sembradas en un tercio de hectárea, la cual también puede adaptarse a los requerimientos de la zona de cultivo debido a que cuenta con subsistemas regulables.
- Se diseñó un sistema mecatrónico lo suficientemente robusto para poder desplazarse por un terreno con pequeños obstáculos, como es el terreno de siembra trabajado en la costa peruana.
- Se obtuvo un sistema surcador regulable, capaz de generar la profundidad de hilera de surco perfecta para el terreno en donde se realizará la siembra, lo cual colaborará con el adecuado crecimiento de la planta de quinua, evitará que esta muera, permitiendo así la optimización de cantidad de semillas a obtener.
- Se logró diseñar un sistema dosificador que no solo es regulable sino que gracias a su flujo por gravedad de semillas, éstas en ningún momento son aplastadas o maltratadas, lo cual traerá buenos resultados en términos de calidad al momento de la cosecha.
- El costo de fabricación del sistema mecatrónico asciende a 2282 dólares por máquina, se investigó el precio de las sembradoras mecánicas actuales y se encontró que son alrededor de 1115 dólares sin incluir envío, impuestos (Anexo 8.2) y el costo de las horas hombre que implica su manipulación. Por lo tanto, realizando una optimización del diseño, reduciendo costos por medio de fabricación y exportación masiva de componentes, tomando en cuenta las ventajas que ofrece el diseño propuesto y asumiendo que el costo de ensamble de piezas bordea los 200 dólares, se concluye que el costo de fabricación del sistema mecatrónico es accesible y sería fiable su comercialización.

Bibliografía

- [1] ANDINA
2013 Agricultura peruana registro mayor crecimiento en la región.
<<http://www.andina.com.pe/agencia/noticia-agricultura-peruana-registro-mayor-crecimiento-la-region-463760.aspx>> Consulta: 4/11/14
- [2] ANNETTE SALIS
1985 Capitulo 2 – Potencialidades Alimenticias y agroindustriales de los cultivos andinos. Cultivos Andinos - ¿Alternativa alimentaria popular? - CEDEP AYLLU
- [3] QUINUA.PE
2013 Quinoa – Zonas de producción.
< <http://quinua.pe/quinua-zonas-de-produccion/>> Consulta: 4/11/14
- [4] INIA
2012 Importancia del cultivo de quinoa hacia el año internacional 2013.
Videoconferencia.pdf
- [5] FERNANDO SANCHEZ BRAVO
2013 Proyecto de factibilidad de inversión privada para la instalación de un semillero de quinoa. SIERRA EXPORTADORA.
- [6] PORTAFOLIO-EL COMERCIO
2013 Perú solo produce 1.100 kilos de quinoa por hectárea pese a demanda insatisfecha. < <http://elcomercio.pe/economia/peru/peru-solo-produce100-kilos-quinua-hectarea-pese-demanda-insatisfecha-noticia-1530236>>
Consulta: 5/11/14
- [7] FLORES J. et.al.
2010 Tecnología productiva de la quinoa-Modulo 1. Proyecto integral quinoa.
SOLID OPD.
- [8] BERNARDO J. et.al.
2008 Sistema de control y comando de un robot móvil para terrenos irregulares.
UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA.
- [9] X.POTAU, M.COMELLAS, M.NOGUES, J.ROCA
2010 Análisis de la geometría y actuación de bogies en vehículos para superación de obstáculos en pendiente. XVII Congreso nacional de ingeniería mecánica. ASOCIACION ESPAÑOLA DE INGENIERIA MECANICA.
- [10] ARDUMANIA
2012 Trucar servo a rotación continua. < <http://www.ardumania.es/trucar-servo-a-rotacion-continua/>> Consulta: 8/9/14
- [11] POLOLU
2014 LSM303D Compass and Accelerometer carrier with voltage regulator.
< [12.http://www.pololu.com/product/2127](http://www.pololu.com/product/2127)> Consulta: 30/10/14

[12] POLOLU

2014 LS20031. GPS Receiver Module.
<<http://www.pololu.com/product/2138/resources>> Consulta: 30/10/14

[13] XBEE GUIA DE USUARIO

2014 Guía de Usuario Xbee Series 1. <www.olimex.cl/pdf/Wireless/ZigBee/XBee-Guia_Usuario.pdf> Consulta: 15/11/14

[14] DIGI

2014 XStick. <<http://www.digi.com/products/wireless-modems-peripherals/wireless-rangeextenders-peripherals/xstick>> Consulta: 15/11/14

[15] ELECTRONICOSCALDAS

2014 MG995 High Speed Metal Gear Dual Ball Bearing Servo.
<http://www.electronicoscaldas.com/datasheet/MG995_Tower-Pro.pdf>
Consulta: 5/10/14

[16] FUTABA

2014 Standard servos. <<http://www.futaba-rc.com/servos/analog.html>> Consulta: 5/10/14

[17] ARDUINO

2014 Arduino mega.
<<http://arduino.cc/en/pmwiki.php?n=Main/ArduinoBoardMega>> Consulta: 5/9/14

[18] ARDUINO

2014 Wireless SD Shield. <<http://arduino.cc/en/Main/ArduinoWirelessShield>>
Consulta: 15/11/14

[19] HOBBYKING

2014 <http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/__21940__Turnigy_nano_tech_10000mah_2S_40_80C_Lipo_Pack_TRA2854_Stampede_Rustler_Bandit_compatible_.html> Consulta: 16/11/14

[19] HOBBYKING

2014 <http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/__6293__ZIPPY_Flightmax_1800mAh_3S1P_20C.html> Consulta: 16/11/14

[20] MASAHIKO NAGAI

2012 Hybrid positioning and sensor integration. Asian Institute of Technology. Thailand.

[21] INGENIERIA AEROESPACIAL

2014 Navegación aérea-Sistemas de navegación integrados, el filtro de Kalman. Universidad de Sevilla.

[22] MICROBOT

2013 Filtro de Kalman e IMU. <[15.http://microbot.blogspot.com/2012/11/filtro-de-kalman-e-imu.html](http://microbot.blogspot.com/2012/11/filtro-de-kalman-e-imu.html)> Consulta: 5/11/14

[23] ARDUINO

2014 Arduino PID library. <[16.http://playground.arduino.cc/Code/PIDLibrary](http://playground.arduino.cc/Code/PIDLibrary)>
Consulta: 6/11/14

- [24] RODRIGUEZ HERNANDEZ, Jorge
2003 Resistencia de materiales 2. Material de enseñanza. Lima: Pontificia Universidad católica del Perú, Ciencias e Ingeniería.
- [25] TIMOSHENKO, Stephen
1989 Resistencia de materiales. S.L.U Espasa Libros
- [26] AREA DE DISEÑO, Sección de Ingeniería Mecánica, PUCP
2003 Dibujo Mecánico 1. Material de enseñanza. Lima: PUCP. Ciencias e Ingeniería.
- [27] AREA DE DISEÑO, Sección de Ingeniería Mecánica, PUCP
2003 Dibujo Mecánico 2. Material de enseñanza. Lima: PUCP. Ciencias e Ingeniería.
- [28] QUISPE ANCHANTE, Rene
2014 AUV para prospección arqueológica del fondo marino mediante un sonar de barrido lateral. Repositorio digital de tesis PUCP. <
<http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/5670>> Consulta:
9/11/14
- [29] NEBOT E. et. al.
2006 Inertial Navigation aided with GPS information. Department of Mechanical and Mechatronic Engineering. University of Sydney, NSW, Australia.
- [30] PEREDA, Fernando
2010 Sistema de telemetría y control de un barco autónomo. Proyecto de fin de carrera. Escuela Politécnica Superior. Universidad Carlos III de Madrid.
- [31] SCHWORER, Ian.
2005 Navigation and Control of an Autonomous Vehicle. Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University. Blacksburg, Virginia, United States.
- [32] YONG L. et. al.
2007 Omni-directional mobile robot controller based on trajectory linearization. School of Electrical Engineering and Computer Science. Ohio University. United States.
- [33] PANAMAHITEK
2014 Regulador de voltaje de alta corriente con LM
- [34] CERVILLA N, et. Al.
2009 Propiedades físicas de semillas y análisis proximal de harinas de *chenopodium quinoa* willd osechadas en distintos años provenientes de la provincia de salta. Instituto de ciencia y tecnología de los alimentos. Cordova, Argentina