

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA  
**UNIVERSIDAD**  
**CATÓLICA**  
DEL PERÚ

## HILADORA AUTOMÁTICA DE FIBRA DE LANA DE ALPACA

Tesis para optar el Título de **Ingeniero Mecatrónico**, que presenta el bachiller:

**Javier Alfredo Hilario Poma**

**ASESOR: Elizabeth Roxana Villota Cerna**

Lima, Enero de 2016

# Resumen

El presente trabajo tiene como finalidad el desarrollo de una máquina automática que facilite el proceso de hilado de lana, en especial el hilado de lana de alpaca, a las personas y artesanos de zonas rurales, cuyo trabajo está relacionado al comercio y producción de dicha fibra.

Con ayuda de este sistema mecatrónico, el artesano podrá ahorrar tiempo en el proceso de hilado y podrá invertirlo en otras actividades, como es el tejido o bordado. Además, gracias a este sistema, el hilo que se obtenga tendrá una mejor precisión con respecto al grosor de este, aumentando así su calidad; el usuario podrá seleccionar entre grosores de 1 mm, 2 mm o 3 mm de acuerdo al uso que él piense darle al hilo.

También, debido a que ya no se invertirá demasiado tiempo en el proceso de hilado, las personas que exportan fibra de lana de alpaca en bruto y sin ningún acabado, podrán generar un valor agregado a sus exportaciones de una forma sencilla mediante el hilado de la fibra que exportan.

En el capítulo 1 se plantea la problemática existente en el país con respecto al proceso del hilado y que el sistema mecatrónico debe resolver. En el capítulo 2 se mencionan los requerimientos y condiciones que el sistema mecatrónico debe cumplir, asimismo, se presenta el concepto de la solución que logrará cumplir tales requerimientos. En el capítulo 3 se explica detalladamente el funcionamiento del sistema, así como los elementos mecánicos y electrónicos que lo conforman, el detalle se muestra en los planos, esquemáticos y diagramas de flujo. En el capítulo 4 se hace el cálculo del presupuesto necesario para la implementación del sistema mecatrónico. Por último en el capítulo 5 se muestran las conclusiones a las que se llegaron al finalizar el presente trabajo.

**TRABAJO DE FIN DE CARRERA PARA OPTAR  
EL TÍTULO DE INGENIERO MECATRÓNICO**

Título : Hiladora automática de fibra de lana de alpaca  
Asesor : Elizabeth Villota Cerna, PhD.  
Alumno : Javier Alfredo Hilario Poma  
Código : 20092353  
Tema N° : 68  
Fecha : 18/12/2014



**Descripción y Objetivos**

En la actualidad y según fuentes del Ministerio de Agricultura y Riego, el Perú es el país que produce la mayor cantidad de fibra de lana de alpaca a nivel mundial, con un nivel de exportación que representa el 2.7% de las exportaciones totales del país. Sin embargo, esta producción de materia prima generalmente no tiene valor agregado alguno, en parte debido a que el proceso del hilado tradicional demanda mucho tiempo.

El presente trabajo consiste en el diseño de un sistema mecatrónico que automatiza el proceso de hilado de lana, en especial la fibra de lana de alpaca, a la vez que mejora la calidad del hilo producido y reduce la demanda de tiempo necesaria para este proceso. El sistema permite al usuario seleccionar el grosor del hilo, y previa calibración de sensores de luz, determina la velocidad de giro del motor que permite obtener el grosor deseado, a la vez que evita la ruptura del hilo.

La motivación de este trabajo es que con la automatización del proceso de hilado se facilite el comercio de lana de alpaca para los ganaderos y artesanos, permitiendo así que le den un valor agregado a su producto para obtener mayores ingresos económicos y sean capaces de expandir su mercado.

En el documento se detallan los requerimientos del sistema, así como las exigencias mecánicas, eléctricas-electrónicas y de control necesarias para su diseño. Entre sus componentes se incluyen los sensores y actuadores, y el microcontrolador, necesarios para su correcta operación. También, con ayuda de diagramas de bloques, esquemáticos, diagramas de flujo y planos mecánicos, se explica detalladamente el funcionamiento del sistema. Finalmente, se presenta el presupuesto necesario para su implementación y las conclusiones a las que se llegaron al realizar el trabajo.



# Índice

Capítulo 1: Presentación de la problemática.....	1
Capítulo 2: Requerimientos del sistema mecatrónico y presentación del concepto..	5
2.1 Requerimientos del sistema mecatrónico.....	5
2.1.1 Requerimientos mecánicos:.....	5
2.1.2 Requerimientos electrónicos:.....	5
2.1.3 Requerimientos de control:.....	5
2.1.4 Árbol de objetivos:.....	6
2.2 Desarrollo de conceptos.....	8
2.3 Concepto de solución.....	9
Capítulo 3: Sistema mecatrónico.....	14
3.1 Diagrama de funcionamiento del sistema mecatrónico.....	14
3.2 Sensores, actuadores y dispositivo de control.....	15
3.2.1 Arquitectura de hardware.....	15
3.2.2 Sensores y actuadores.....	15
3.2.2.1 Sensores.....	15
3.2.2.2 Actuadores.....	17
3.2.3 Microcontrolador.....	19
3.3 Planos del sistema mecatrónico.....	20
3.4 Diagramas esquemáticos de los circuitos del sistema mecatrónico.....	26
3.4.1 Circuito de potencia.....	26
3.4.2 Circuito electrónico.....	26
3.5 Diagramas del programa de control.....	29
3.5.1 Diagrama de bloques.....	29
3.5.2 Diagramas de flujo.....	31
Capítulo 4: Presupuesto.....	34
4.1 Presupuesto electrónico.....	34
4.2 Presupuesto mecánico.....	35
4.3 Presupuesto total.....	35
Capítulo 5: Conclusiones.....	36
Bibliografía.....	37

# Capítulo 1

## Presentación de la problemática

Actualmente, el Perú produce el 89% de la demanda mundial de fibra de lana de alpaca. En los últimos años, la fibra y derivados de la lana de alpaca representaron 2.7% de las exportaciones totales del país; además, su contribución al producto bruto manufacturero ha sido entre 2 y 2.5%. En el año 2006, las exportaciones de artículos de alpaca alcanzaron un valor de casi US\$ 52 millones. De la cantidad total exportada, el 33% se concentró en exportaciones por “Hilados de pelo fino” con un valor aproximado de US\$ 17 millones. En ese mismo año, se registró un crecimiento de 42.9% de exportaciones de productos derivados de la fibra de alpaca con respecto al año 2005 [1].

Con el fin de incrementar el nivel de exportaciones de acuerdo a la demanda actual de hilados de lana de alpaca, y al mismo tiempo poder generar un valor agregado a la fibra, es necesario optimizar el proceso tradicional de hilado, actividad realizada mayormente mediante husos y ruecas, para producir así un hilo que tenga una mejor calidad.

Las características principales de la fibra de lana de alpaca son:

- Es fina y suave, más larga que la lana de oveja.
- Tiene una gran variedad de colores y matices distintos.
- Su valor comercial es más alto que el de la lana de oveja.
- La fibra tiene alta resistencia a la tensión y gran elasticidad.
- Presenta una importante cualidad de protección térmica.
- Mayor rendimiento en el hilado con respecto a la lana de oveja, manteniendo igual grosor.

Para poder llegar al proceso de hilado de lana, es necesario que la fibra pase por tres etapas y esté lista para el hilado, a continuación se muestran los procesos necesarios por los que tiene que pasar la fibra cuando esta se produce de manera tradicional:

1. Esquilado: Es el proceso en el cual se corta la lana a la alpaca con una tijera o con manijas de esquila y de este proceso se obtiene el vellón.



Figura 1.1: Imagen que muestra el proceso de esquila.  
Fuente: [2]

2. Preparación del vellón: Es el proceso en el cual se prepara la fibra para poder ser hilada, esta preparación consiste en realizar un selección por color, principalmente se tiene que separar las partes más oscuras de las partes más claras presentes en el vellón; luego, se procede a realizar la limpieza del vellón donde se retirarán todas las espinas, basura y polvo que estén presentes en el vellón. Cabe resaltar que, que a diferencia de la lana de oveja, la fibra de alpaca no debe ser lavada antes de hilar pues deterioraría su calidad.



Figura 1.2: Imagen que muestra el proceso de la preparación del vellón.  
Fuente: [3]

3. Preparación de la mecha: Este proceso consiste en desenredar, estirar y paralelizar las fibras cuidadosamente formando una mecha esponjosa. También se le conoce como peinado o cardado de la fibra.



Figura 1.3: La imagen muestra la mecha lista para hilar.  
Fuente: [3]

Después de haber hecho la preparación, ya se puede comenzar a hilar. En el proceso del hilado primero se debe de torcer las fibras (ver figura 1.4) para unir las y formar una hebra continua, la cual tendrá mayor resistencia y elasticidad, cualidades necesarias para la tejeduría. Después de torcer las fibras, éstas deben ser almacenadas para su posterior enmadejado, cuando el hilado se realiza en un huso el almacenamiento se hace en el mismo instrumento (ver figura 1.5); mientras que si el proceso es realizado en un rueca, el almacenamiento se hace en la bobina de la rueca (ver figura 1.6).



Figura 1.4: Muestra el torcido de las fibras.  
Fuente: [4]



Figura 1.5: Muestra el almacenamiento del hilo en un huso.  
Fuente: [5]



Figura 1.6: Muestra el almacenamiento del hilo en la bobina de una rueda.  
Fuente: [5]

El principal inconveniente que se presenta al realizar el hilado de manera tradicional es que para obtener un hilo de un grosor deseado, solo depende del pulso que tenga la persona que realiza el hilado, pues es ella la que manualmente gradúa el grosor del hilo; es por ello que el grosor obtenido en ciertos tramos puede llegar a ser muy disparejo, lo cual hace que disminuya su calidad. Otro aspecto negativo es que para el proceso de hilado, el artesano tiene que ser muy paciente, pues demanda mucho tiempo su realización y puede llegar a ser muy fatigante la obtención del hilo.

Para solucionar los aspectos desfavorables que se pueden generar en el hilado tradicional y hacer más factible el proceso de hilado, es que en el presente trabajo se presenta una solución para mejorar el proceso de hilado tradicional. Con este sistema, los ganaderos y artesanos podrán producir hilos de mejor calidad sin necesidad de invertir mucho tiempo en el proceso de hilado, solo el tiempo necesario para la instalación del sistema.



# Capítulo 2

## Requerimientos del sistema mecatrónico y presentación del concepto

### 2.1 Requerimientos del sistema mecatrónico

El objetivo del presente trabajo es diseñar una máquina automática para la realización del hilado de lana, que pueda operar de manera segura y sencilla para el usuario. Por ello, las siguientes necesidades deben de poder ser resueltas con ayuda del sistema mecatrónico:

- Reducir la fatiga generada al hilar.
- Tener dimensiones menores a las de una rueca promedio.
- Bajo costo.
- Mantenimiento sencillo.
- Fácil instalación.
- Poder prevenir una posible ruptura de la fibra.

También es muy importante tener en consideración, que la fibra a ser procesada debe de estar lista para ser hilada; en otras palabras la fibra debe de haber pasado por las 3 etapas mencionadas en el capítulo 1 que son: el esquilado, la preparación del vellón y la preparación de la mecha. Además, se considera que siempre al iniciar el hilado, estará presente el hilo guía necesario (ver anexo 4).

Para satisfacer estas necesidades y consideraciones, el sistema mecatrónico debe cumplir con los requerimientos mecánicos, electrónicos y de control siguientes:

#### 2.1.1 Requerimientos mecánicos:

- El material para la estructura debe ser de bajo costo y con poco peso.
- Dimensiones máximas de 80 cm x 50 cm x 50 cm.
- Generar baja vibración.
- Masa máxima menor a los 12kg.
- Diseño exterior discreto e intuitivo.
- Construido con materiales no tóxicos.

#### 2.1.2 Requerimientos electrónicos:

- El suministro de energía eléctrica del sistema será desde una toma de corriente alterna de 220 V.
- Tener un consumo bajo energético.
- Contará con un sistema de protección eléctrico que proteja al sistema de control de posibles picos de corriente provenientes de los sensores y actuadores.

#### 2.1.3 Requerimientos de control:

- Uso de un microprocesador capaz de controlar sin problemas todos los sensores y actuadores que tenga el sistema.
- Poder detener el funcionamiento del sistema mientras esté en operación.
- Tener un funcionamiento automático.

**2.1.4 Árbol de objetivos:**

A partir de los requerimientos antes descritos, se planteó un árbol de objetivos que ayuda a identificar los aspectos principales que se deben tener en cuenta al momento de plantear una solución que satisfaga el problema. A continuación en las figuras 2.1.4.1 a 2.1.4.5 se muestra el árbol de objetivos desarrollado.

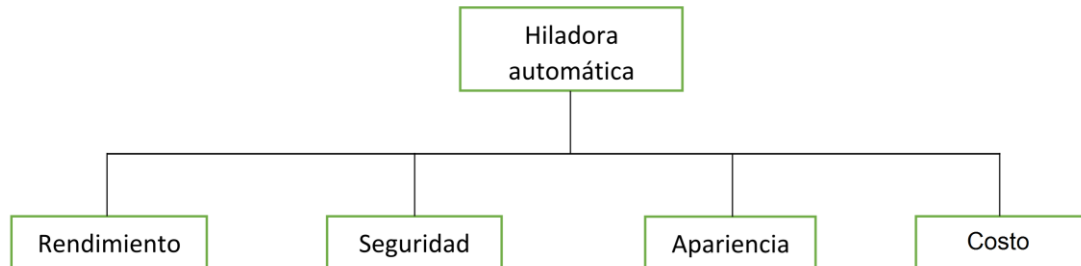


Figura 2.1.4.1: Muestra el árbol de objetivos central.  
Fuente: Elaboración propia.

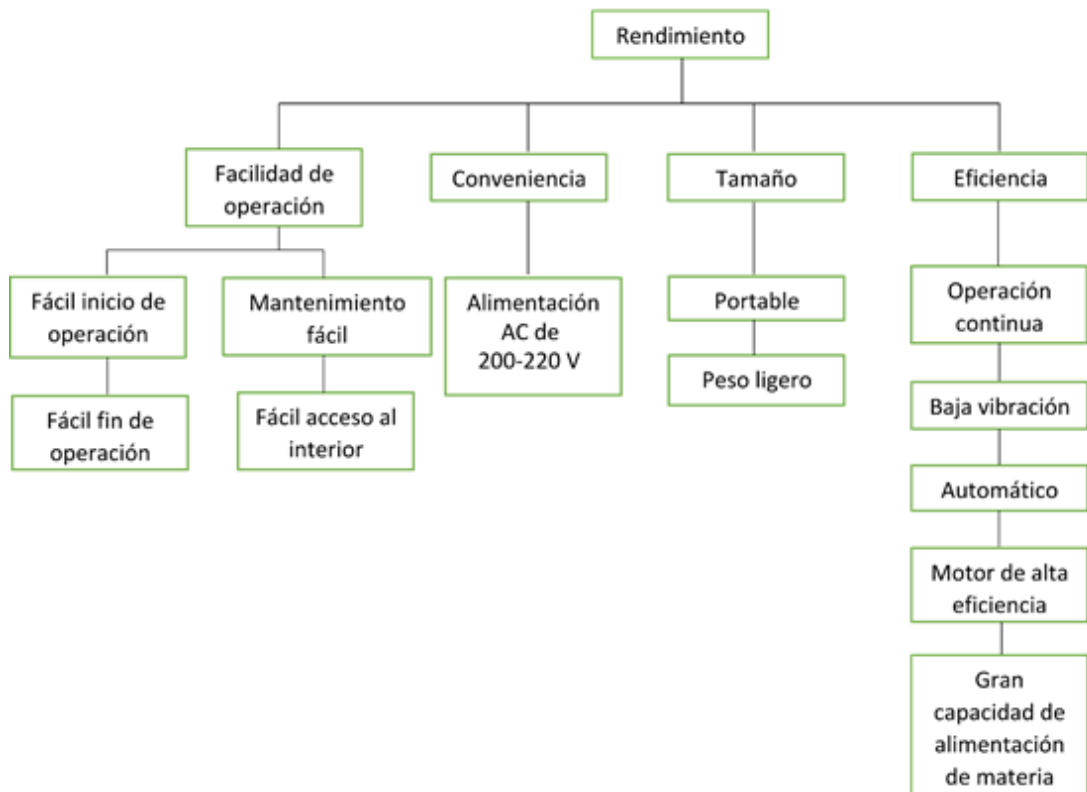


Figura 2.1.4.2: Muestra el árbol de objetivos con referencia al Rendimiento.  
Fuente: Elaboración propia.



Figura 2.1.4.3: Muestra el árbol de objetivos con referencia a la Seguridad.  
Fuente: Elaboración propia.

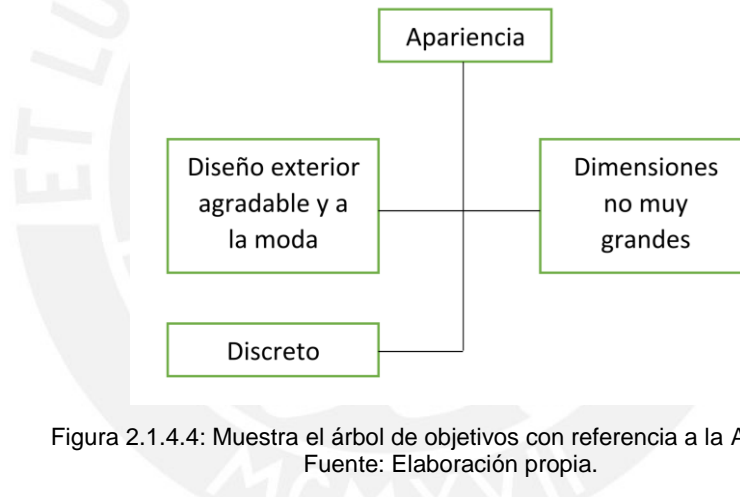


Figura 2.1.4.4: Muestra el árbol de objetivos con referencia a la Apariencia.  
Fuente: Elaboración propia.

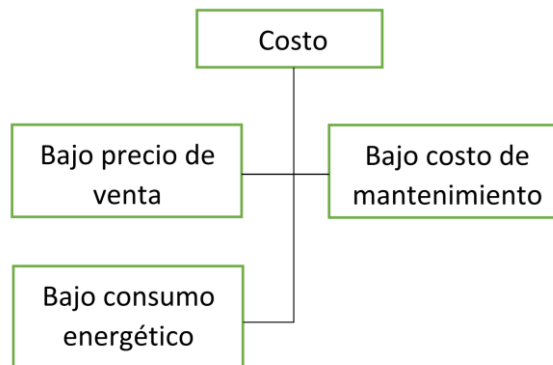


Figura 2.1.4.5: Muestra el árbol de objetivos con referencia al Costo.  
Fuente: Elaboración propia.

## 2.2 Desarrollo de conceptos

Se realizó la matriz morfológica de la figura 2.2.1 para poder definir posibles conceptos solución y se seleccionó una opción:

Función	Opción 1	Opción 2	Opción 3
Interfaz	Switch de perilla 	Pantalla táctil 	Pulsador 
Detectar presencia fibra	Sensor fotoeléctrico 	Sensor ultrasonido 	Cámara 
Controlador	Arduino 	Raspberry pi 	Atmega8 
Sujetar fibra	Servomotor 	Manual 	
Tensar fibra	Actuador lineal 		
Torcer fibra	Torcedora 	Torcedora convencional 	
Hilar fibra	Actuador Lineal 	Manual 	Servomotor + corredera 
Verificar	Cámara VGA 	Sensor ultrasonido 	Sensor fotoeléctrico 
Ajustar Grosor		Manual 	

Figura 2.2.1: Matriz morfológica desarrollada.  
Fuente: Elaboración propia.

## 2.3 Concepto de solución

La figura 2.3.1 muestra la vista isométrica del concepto de la solución para la hiladora automática. Las dimensiones del sistema son: 347 mm de alto, 300 mm de ancho y 484 mm de largo. En esta vista isométrica se puede observar que la estructura está hecha completamente de madera y las uniones se hacen mediante pernos, clavos y cola sintética.



Figura 2.3.1: Vista isométrica del sistema.  
Fuente: Elaboración propia.

La figura 2.3.2 muestra la vista superior del sistema, en la que se puede apreciar la ubicación del sensor de ultrasonido que se encarga de verificar cuando se ha llenado la bobina, y la ubicación de los acrílicos para el acceso superior.

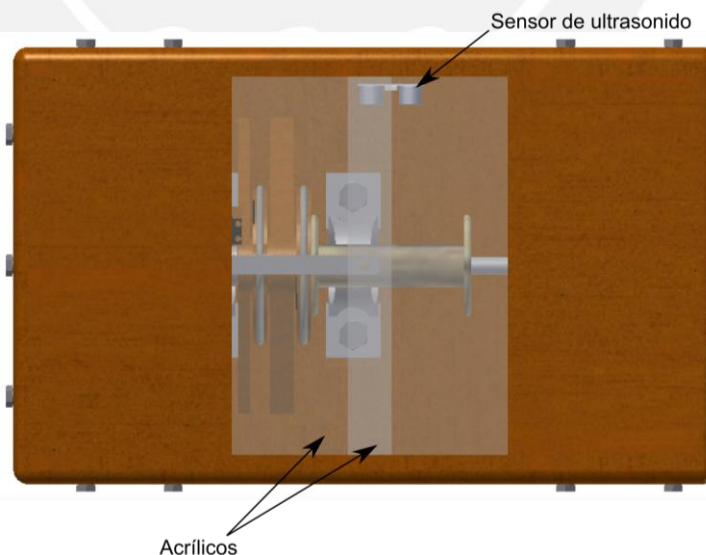


Figura 2.3.2: Vista superior del sistema.  
Fuente: Elaboración propia.

La figura 2.3.3 muestra la vista lateral y frontal del sistema, además se observan los sensores de luz que son utilizados para determinar el grosor del hilo y para detectar la presencia de la fibra, la localización de los ganchos guías para la fibra, y el selector de grosor removible que a la vez sirve de entrada de la materia prima. El selector reemplaza a una mano humana, que en un sistema tradicional como la rueca, la mano y la experiencia del usuario son los que definen el grosor del hilo.



Figura 2.3.3: Vista lateral y frontal del sistema.  
Fuente: Elaboración propia.

La figura 2.3.4 muestra una vista interna del sistema mecatrónico y se observa la localización de algunos componentes del sistema; también se ve la ubicación del sistema guía (ver anexo 2) que es el encargado de distribuir el hilo torcido cuando éste es almacenado en la bobina.

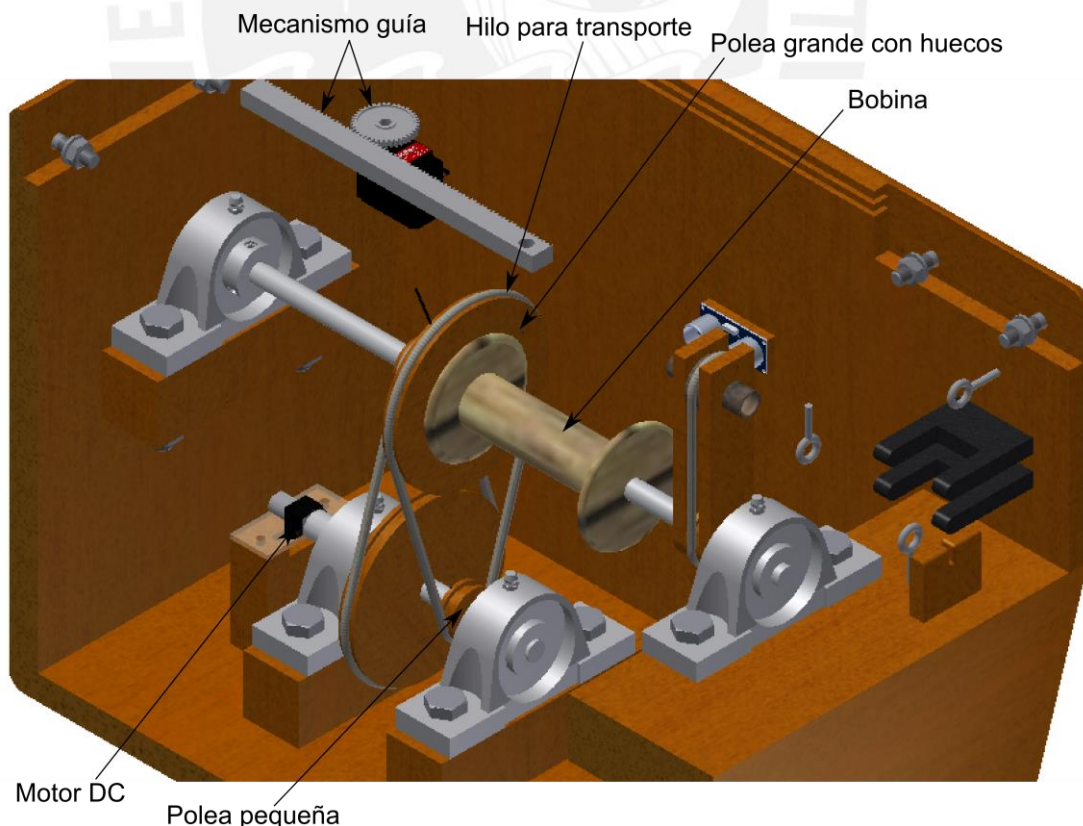


Figura 2.3.4: Vista interna del sistema.  
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 2.3.5 se visualiza el mecanismo de transmisión por poleas, el objetivo de este mecanismo es el de poder generar dos movimientos distintos con un solo motor que permitan realizar el proceso de hilado.

Para el primer movimiento, que es el que va dirigido hacia el mecanismo torcedor (figura 2.3.5), se tiene la polea grande montada en el eje pequeño, el movimiento rotacional del último es generado directamente por el motor DC. La polea grande transmite el movimiento a la polea pequeña, la cual aumenta su velocidad en 4 veces pues la relación de radios de las poleas es de 4 a 1; la polea pequeña es la que le transmite el movimiento al eje grande. El eje grande es el encargado de transmitir el movimiento a la polea pequeña del mecanismo torcedor, esta polea está conectada con el torcedor y tienen un ratio de 1 a 1, de esta forma la velocidad de giro del torcedor será igual a la velocidad de giro de la polea pequeña que es 4 veces la velocidad del motor DC.

Para el segundo movimiento, se dispone de otra polea pequeña, visible en la figura 2.3.5, que se encuentra detrás de la polea grande y que está montada también en el eje pequeño. Esta polea pequeña transmite su movimiento a la polea grande con huecos, que está acoplada a la bobina, y así ambas giraran libremente con respecto al eje grande. Debido al ratio de 1 a 4 que tiene la polea pequeña respecto a la polea con huecos, esta última polea girará con una velocidad 4 veces menor a la que gire el motor DC.

Es necesario que el torcedor gire mucho más rápido que la bobina, pues se requiere que la fibra sea torcida lo suficiente para que después se almacene en la bobina. Finalmente la relación de ratios que se tendrá entre la bobina y el torcedor será de 1 a 16.

En la figura 2.3.5 se muestra el mecanismo de transmisión por poleas junto con el mecanismo torcedor.

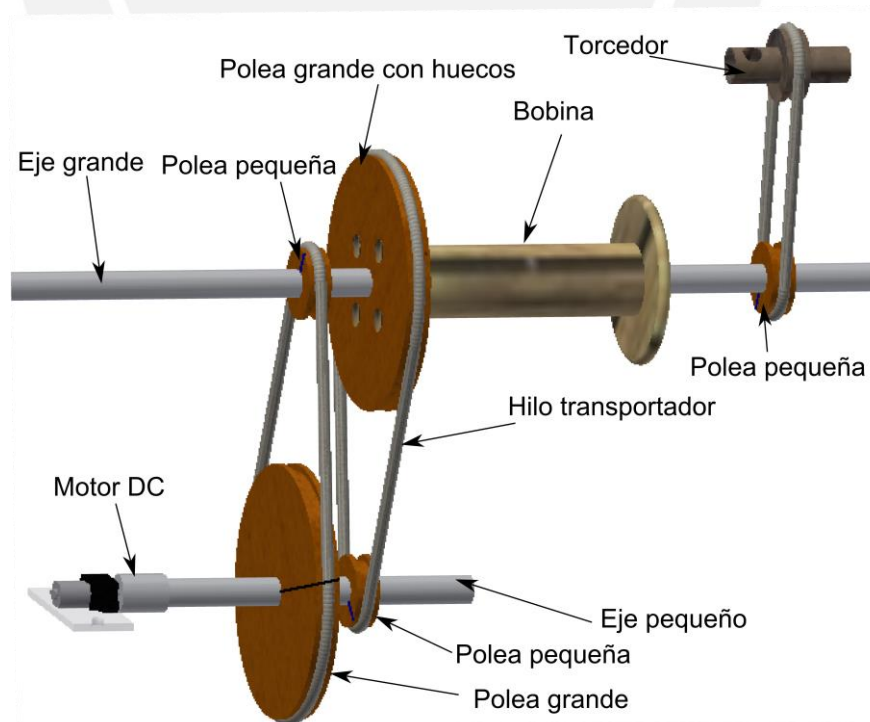


Figura 2.3.5: Vista del mecanismo de transmisión por poleas y del mecanismo torcedor.  
Fuente: Elaboración propia.

Para fijar las poleas a los ejes, parte del eje cuenta con un perfil hexagonal que facilita la transferencia del movimiento a las poleas que tienen un correspondiente agujero hexagonal. En la figura 2.3.6 y 2.3.7 se muestran el perfil hexagonal de un eje y el agujero hexagonal de la polea. Los detalles de las dimensiones para los ejes se encuentran en el anexo 8 en los planos L-20 y L-34, mientras que para los ejes se encuentran en los planos L.24, L-25 y L-26.

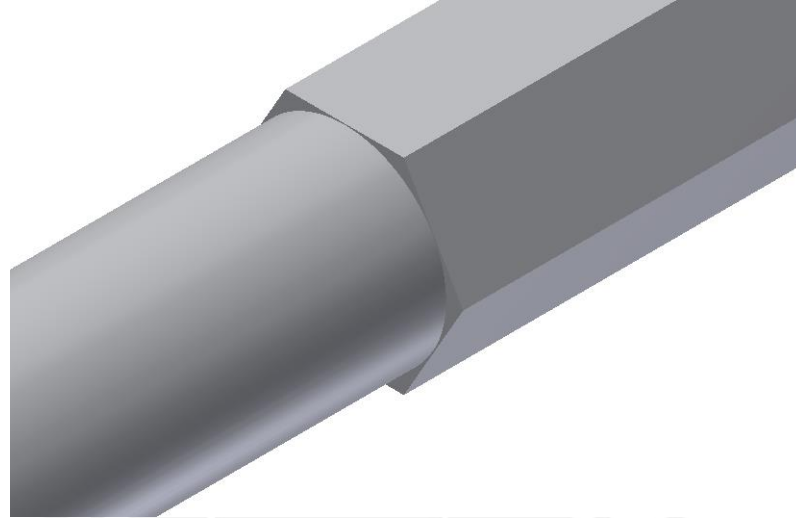


Figura 2.3.6: Vista del perfil hexagonal de los ejes.  
Fuente: Elaboración propia.

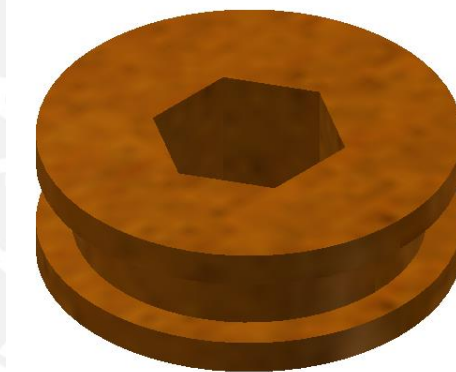


Figura 2.3.7: Vista de la zona hexagonal de los ejes.  
Fuente: Elaboración propia.

A pesar de que el movimiento de las poleas es rotacional y las fuerzas de tensión son verticales, es necesario prevenir el movimiento relativo horizontal que se podría dar entre las poleas y los ejes. Es por ello que el sistema cuenta con 2 componentes (Ajuste eje y Apoyo torcedor) que evitarían dicho movimiento relativo. En la figura 2.3.8 se muestra la ubicación de los componentes mencionados en el sistema.



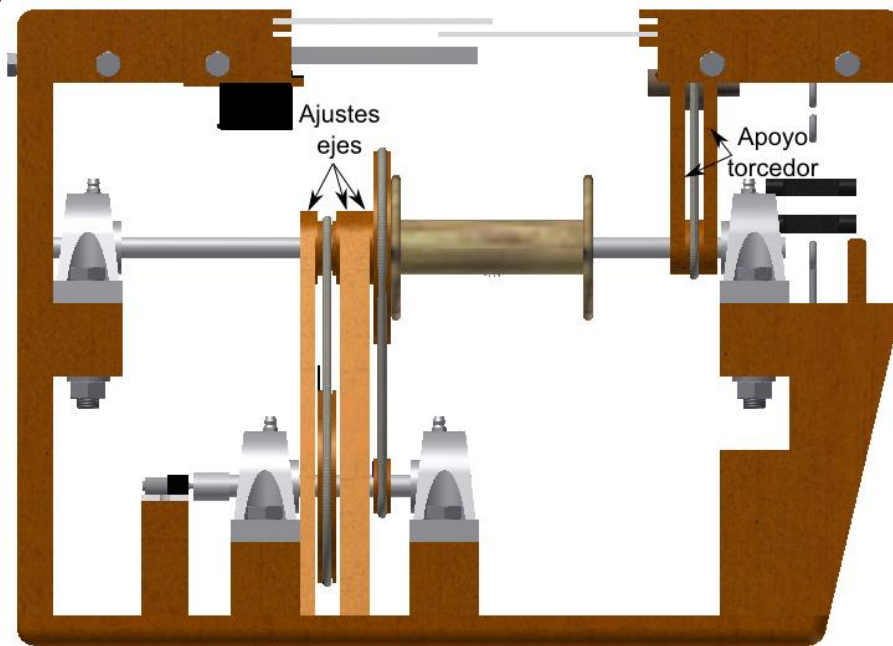


Figura 2.3.8: Vista de la ubicación de los "Ajuste eje y Apoyo torcedor".  
 Fuente: Elaboración propia.

El hilo torcido debe ser almacenado, y para ello se dispone de un mecanismo guía para distribuir uniformemente el hilo en la bobina (ver figura 2.3.8). Este mecanismo consta de un servomotor, un engranaje y una cremallera; el objetivo de esto es que el engranaje acoplado al eje del servomotor transmita su movimiento a la cremallera, de esta forma el hilo torcido podrá ser guardado en la bobina. En el anexo 2: Mecanismo guía e hilo de transporte, se explica con mayor detalle la selección del engranaje requerido para este mecanismo.

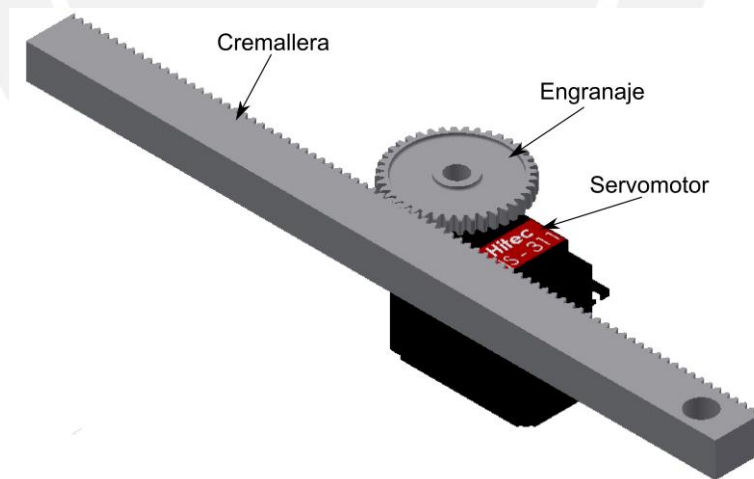


Figura 2.3.8: Mecanismo guía.  
 Fuente: Elaboración propia.

Para el control del giro del motor DC y el servomotor se utilizará un microcontrolador, que mediante señales PWM controlará dichos motores. También se encargará de procesar toda la información recibida por los sensores del sistema y con ello determinar la velocidad que tendrá el motor DC: Esta velocidad del motor dependerá de si el grosor medido se encuentra dentro del rango deseado, caso contrario la velocidad de giro se incrementará o se disminuirá.

# Capítulo 3

## Sistema mecatrónico

### 3.1 Diagrama de funcionamiento del sistema mecatrónico

En la figura 3.1.1 se muestra el diagrama de funcionamiento completo del sistema de hilado automático de fibra de lana de alpaca. En él, el usuario es el encargado de realizar el calibrado de los 2 sensores de luz (ver anexo 4), de realizar la sujeción del hilo guía a la bobina y de seleccionar el grosor, para posteriormente iniciar el hilado al presionar el pulsador de inicio que envía una señal de activación al controlador.

El controlador inicia todos los sensores, recibe información de los sensores de luz y determina si hay fibra presente o no, solo es necesario que cualquiera o ambos sensores se encuentren activados. Luego, acciona el motor DC, que hace girar a la bobina, y se genera un tensado que permite que la fibra comience a ingresar al sistema. Al ingresar a la torcedora, la fibra comenzará a torcerse para así iniciar la formación del hilo y darle el grosor deseado; constantemente los 2 sensores de luz determinarán si el grosor del hilo es el correcto y de acuerdo a ello se variará la velocidad del motor DC, si el hilo es muy grueso la velocidad aumentará, y si es muy delgado la velocidad disminuirá (ver anexo 3).

Una vez que el hilo se haya torcido, este se almacenará en la bobina hasta que el sensor de ultrasonido envíe una señal que indique que la bobina está llena, cuando se reciba esta señal, culminará el proceso de hilado.

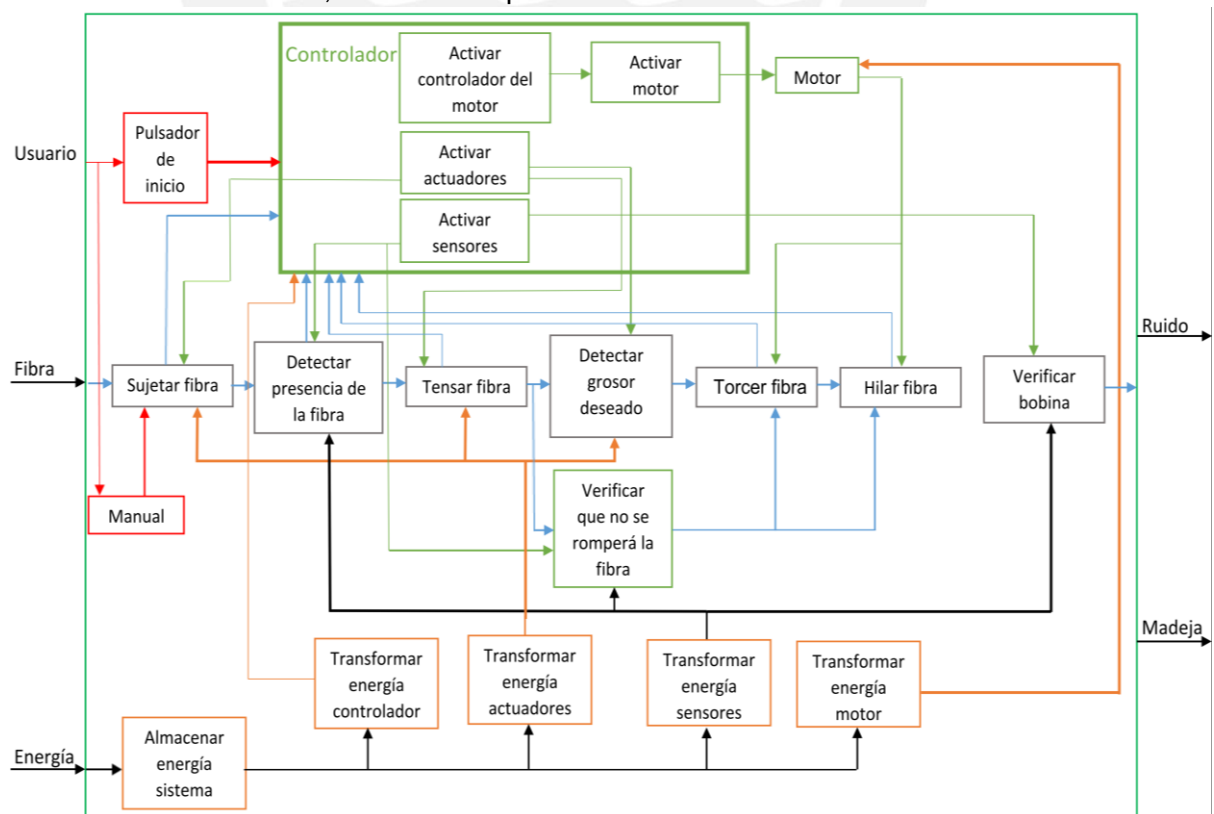


Figura 3.1.1: Diagrama de funcionamiento del sistema mecatrónico  
Fuente: Elaboración propia.

## 3.2 Sensores, actuadores y dispositivo de control

### 3.2.1 Arquitectura de hardware

En la figura 3.2.1 se muestra la arquitectura de hardware de la hiladora automática de lana de fibra de alpaca, en él se muestra las conexiones con los sensores y actuadores que tiene el sistema mecatrónico, así como su respectivo tipo de comunicación (digital, PWM, analógica o I<sup>2</sup>C).

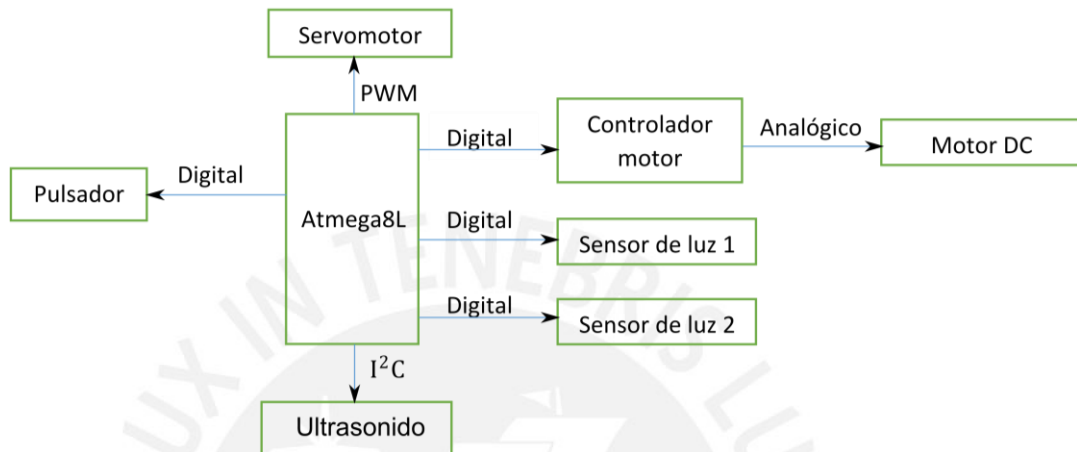


Figura 3.2.1: Diagrama de la arquitectura de hardware del sistema.  
Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.2 Sensores y actuadores

#### 3.2.2.1 Sensores

##### Sensor de luz

Se utilizarán 2 sensores de luz de modelo 45LSP Optical Fork Photoelectric Sensor (figura 3.2.2), de la marca Rockwell Automation, pues son ideales para el sistema debido a su gran precisión de detección. Estos sensores son utilizados para poder detectar la presencia de la fibra y también para determinar si el grosor del hilo tiene las dimensiones correctas definidas por el usuario. En el anexo 6 se encuentran la hoja de datos con sus características eléctricas.



Figura 3.2.2: 45LSP Optical Fork Photoelectric Sensor  
Fuente: [6]

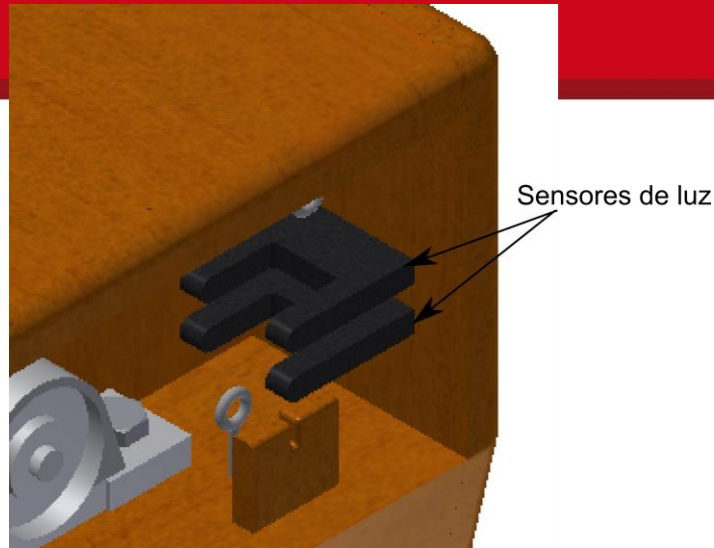


Figura 3.2.3: Ubicación de los sensores de luz.  
 Fuente: Elaboración propia

### Sensor de ultrasonido

El sensor de ultrasonido elegido es el modelo HC-SR04 (figura 3.2.4) de la marca ElecFreaks. Este sensor es utilizado para determinar cuando la bobina de almacenamiento se encuentre llena; al suceder esto, el motor DC y el servomotor detendrán su funcionamiento y significará que el proceso de hilado ha terminado y ya se puede retirar la bobina con la fibra hilada. Para determinar cuándo se llenó la bobina, este sensor constantemente estará midiendo la distancia que hay entre él y la superficie de rebote, que en el caso que la bobina esté vacía será madera y en caso que se empiece a llenar será la fibra hilada. Si la distancia medida es menor a 70 mm significará que la bobina se llenó, en caso la distancia sea mayor significará que todavía no se llenó la bobina. En el anexo 1 se encuentra el cálculo de las distancias para la medición y en el anexo 6 se encuentran la hoja de datos con sus características eléctricas.



Figura 3.2.4: Sensor de ultrasonido HC-SR04.  
 Fuente: [7]

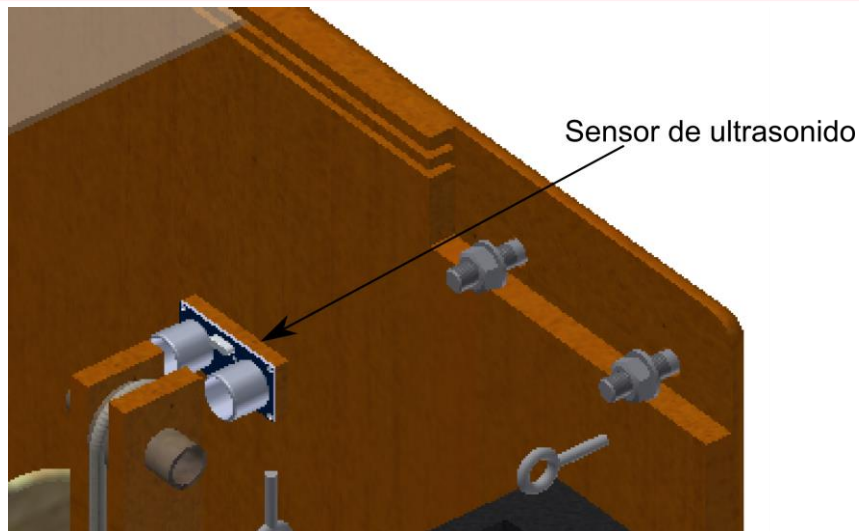
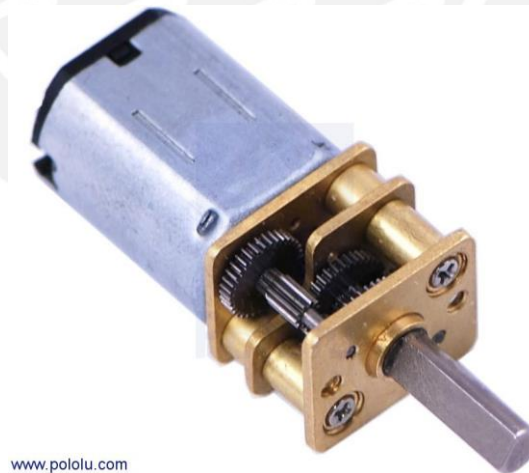


Figura 3.2.5: Ubicación del sensor de ultrasonido.  
Fuente: Elaboración propia

### 3.2.2.2 Actuadores

#### Motor DC

El motor DC seleccionado es el 150:1 Micro Metal Gearmotor HP de la empresa Pololu, su velocidad es de 200 rpm con una alimentación de 6 V, corriente máxima de 1.6 A y 0,2825 N-m de torque. Este motor es el que realizará el movimiento del mecanismo torcedor y del mecanismo de almacenamiento en la bobina, el funcionamiento de estos mecanismos fue indicado en el capítulo 2.3.



[www.pololu.com](http://www.pololu.com)

Figura 3.2.6: 150:1 Micro Metal Gearmotor HP.  
Fuente: [8]

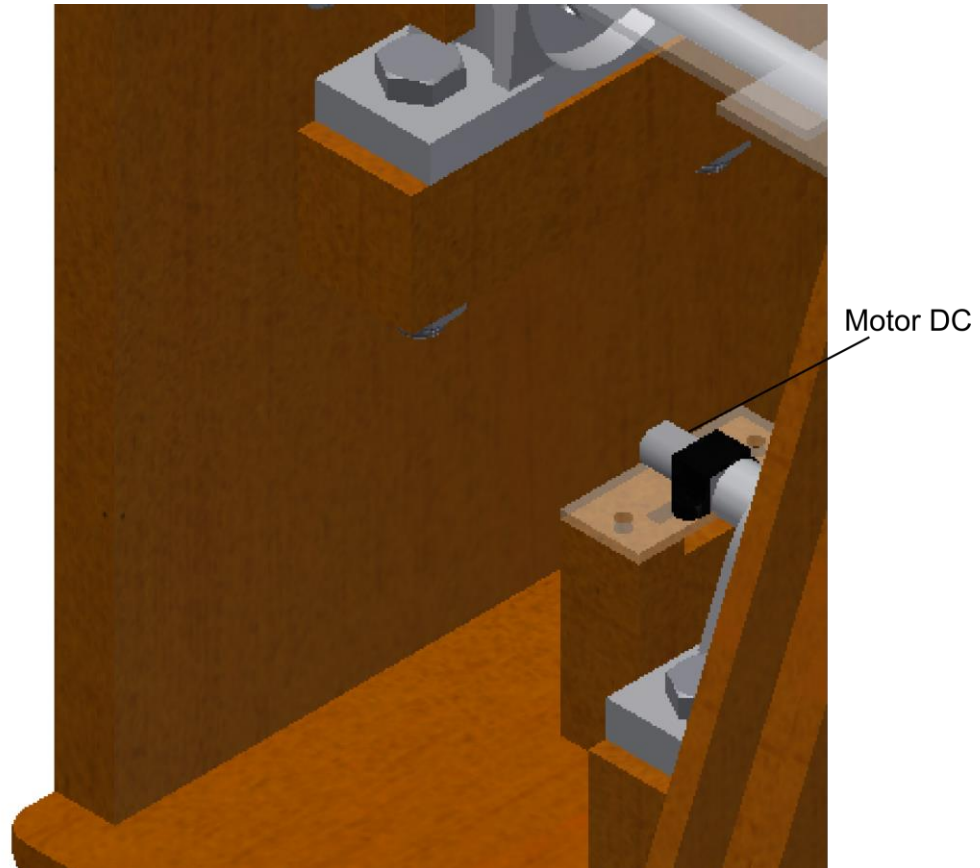


Figura 3.2.7: Ubicación del motor DC.  
Fuente: Elaboración propia.

### Servomotor

Es necesario implementar un sistema que guíe al hilo torcido cuando éste es almacenado, de no ser así, el almacenamiento no se realizará de forma óptima. Por este motivo, se implementó el mecanismo guía (ver anexo 2) y para ello se seleccionó al servomotor HS-311 Standard de la marca HITEC.



Figura 3.2.8: Servomotor HS-311 Standard  
Fuente: [9]

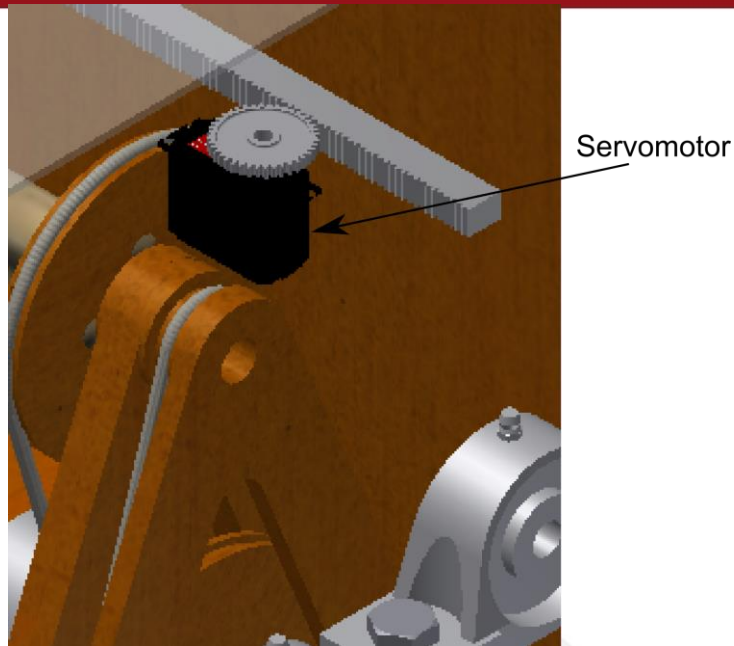


Figura 3.2.9: Ubicación del servomotor  
Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.3 Microcontrolador

Para el sistema de control se seleccionó el microcontrolador ATmega8L de la compañía Atmel, ya que principalmente el sistema necesita dos pines de salida PWM y este microcontrolador cuenta con 3 salidas PWM; además de ello, cuenta con la cantidad de pines suficientes para poder realizar las conexiones necesarias de todo el sistema.



Figura 3.2.8: Microcontrolador ATmega8L  
Fuente: [10]

### 3.3 Planos del sistema mecatrónico

En esta sección solo se mostrarán los planos de ensamble y sub-ensamble del sistema mecatrónico, para observar los planos de despiece, en tamaño completo y a mayor detalle ver el anexo 8: Planos. Las dimensiones del hilador automático son: 347 mm de alto, 300 mm de ancho y 484 mm de largo. En la figura 3.3.1 se muestra el plano del ensamblaje general de todo el sistema.

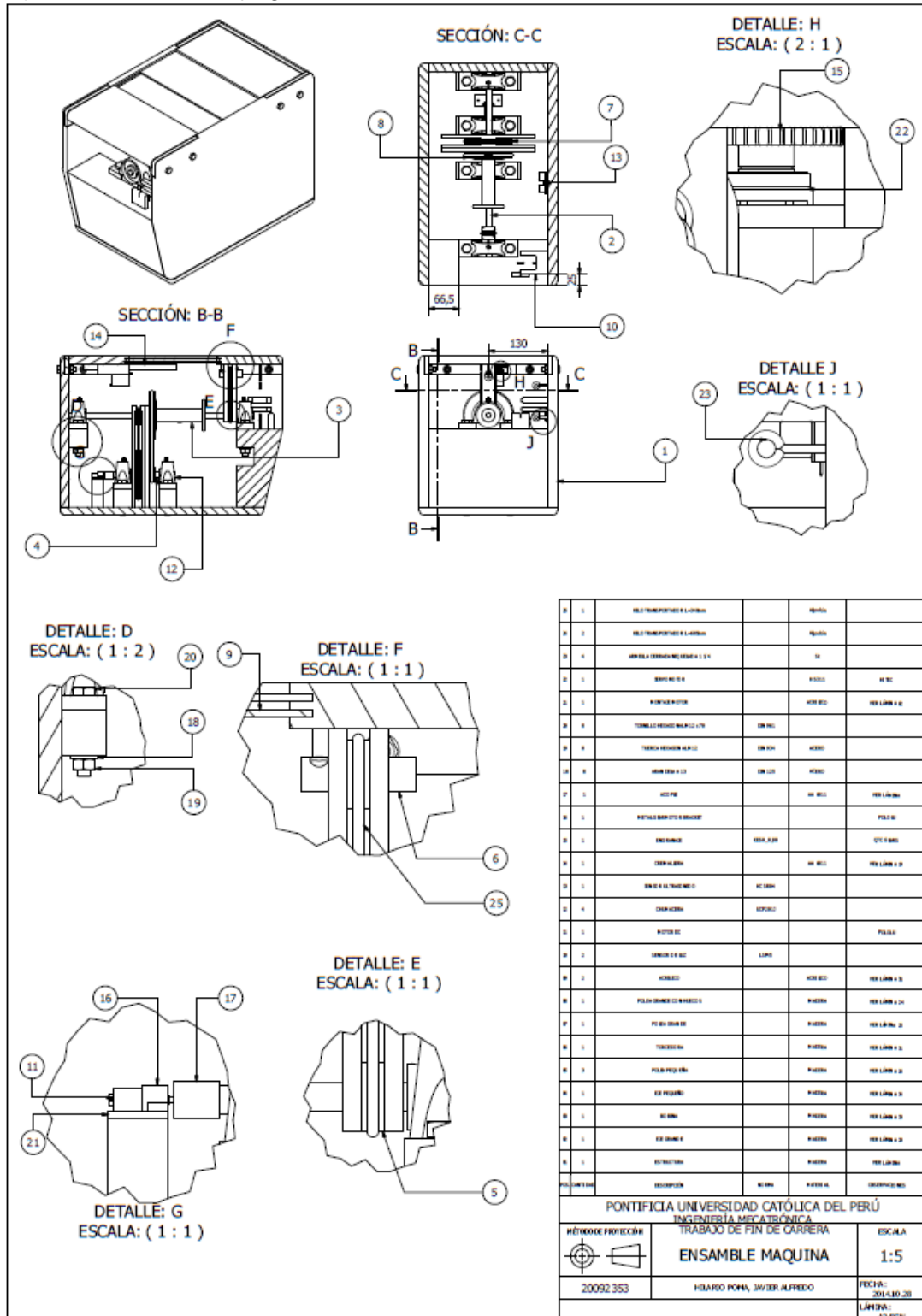


Figura 3.3.1: Plano de ensamble general del sistema.  
Fuente: Elaboración propia.



A continuación se muestra la tabla 3.3.1, que muestra los componentes presentes en el plano de ensamblaje anterior.

Tabla 3.3.1: Lista de componentes del ensamble general.

Pos.	Cant.	Descripción	Norma	Material
1	1	Estructura		Madera
2	1	Eje grande		Madera
3	1	Bobina		Madera
4	1	Eje pequeño		Madera
5	3	Polea pequeña		Madera
6	1	Torcedora		Madera
7	1	Polea grande		Madera
8	2	Polea grande con huecos		Madera
9	2	Acrílico		Acrílico
10	1	Sensor de luz	LSP45	
11	4	Motor DC		
12	1	Chumacera	UCP 201J	
13	1	Sensor ultrasonido	HC SR04	
14	1	Cremallera		AA 6011
15	1	Engranaje	KSD0_8_80	
16	1	Metal gearmotor bracket		
17	1	Acople		AA 6011
18	8	Arandela A 13	DIN 125	AISI 1020
19	8	Tuerca hexagonal M12	DIN 934	AISI 1020
20	8	Tornillo hexagonal M12 x 70	DIN 961	AISI 1020
21	1	Montaje motor		Acrílico
22	1	Servomotor	HS 311	
23	4	Armella cerrada niquelada 1 ¼		
24	2	Hilo transportador L=685 mm		Algodón
25	1	Hilo transportador L=340 mm		Algodón

En la figura 3.3.2 se muestra el plano de sub-ensamble de la estructura del sistema hecha en madera.

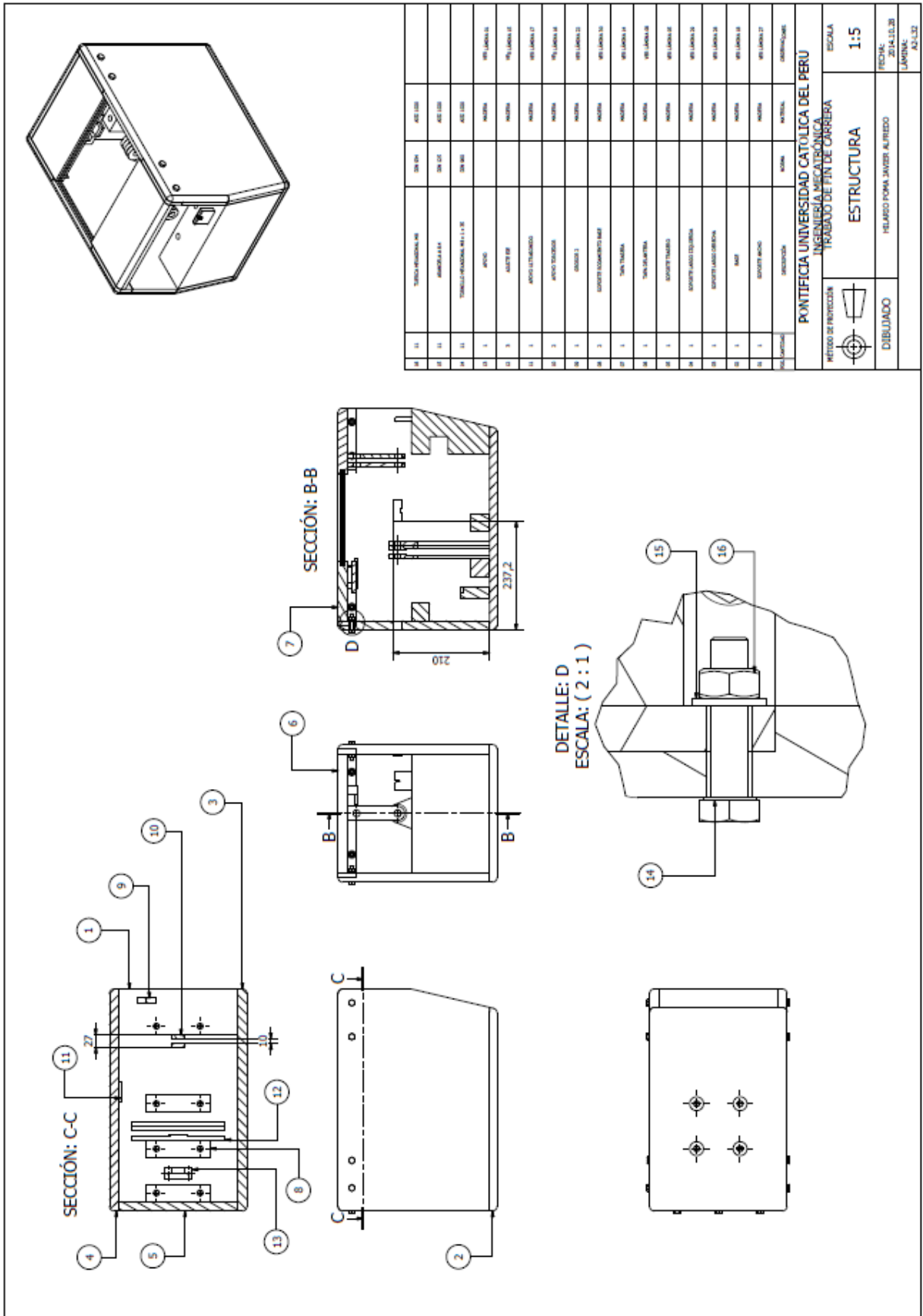


Figura 3.3.2: Plano de sub-ensamble de la estructura del sistema.  
Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 3.3.2 se muestran los componentes del plano de subensamblaje de la estructura de madera.

Tabla 3.3.2: Lista de componentes del subensamble estructura.

Pos.	Cant.	Descripción	Norma	Material
1	1	Soporte ancho		Madera
2	1	Base		Madera
3	1	Soporte largo derecha		Madera
4	1	Soporte largo izquierda		Madera
5	1	Soporte trasero		Madera
6	1	Tapa delantera		Madera
7	1	Tapa trasera		Madera
8	2	Soporte rodamiento base		Madera
9	1	Grosor 2		Madera
10	2	Apoyo torcedor		Madera
11	1	Apoyo ultrasonido		Madera
12	3	Ajuste eje		Madera
13	1	Apoyo		Madera
14	11	Tornillo hexagonal M8	DIN 960	AISI 1020
15	11	Arandela A 8.4	DIN 125	AISI 1020
16	11	Tuerca hexagonal M8	DIN 934	AISI 1020



La figura 3.3.3 muestra el plano de sub-ensamble del soporte trasero de la estructura de madera.

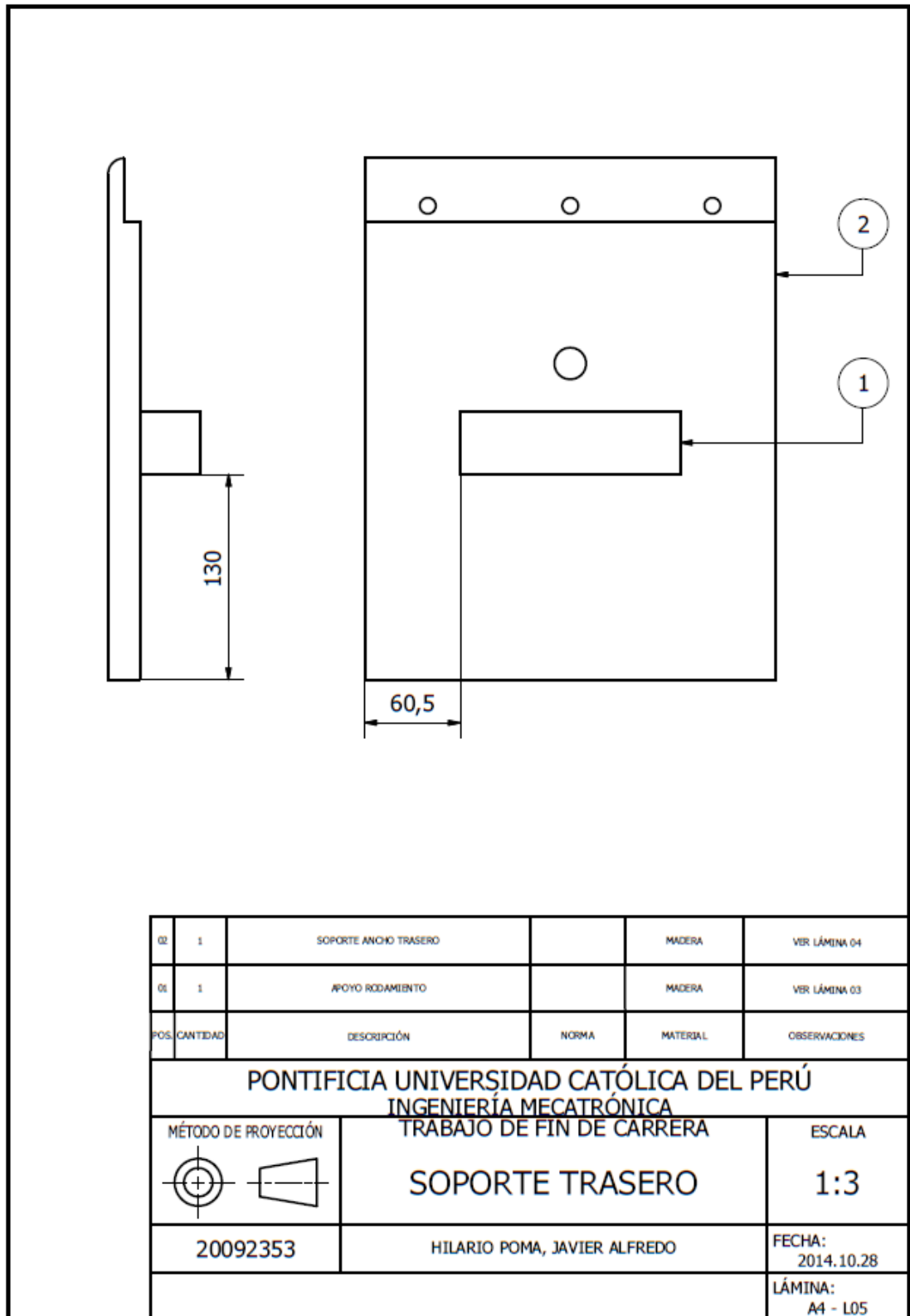


Figura 3.3.3: Plano de sub-ensamble del soporte trasero.  
Fuente: Elaboración propia.

La figura 3.3.4 contiene al plano de sub-ensamble de la Tapa delantera de la estructura de madera.

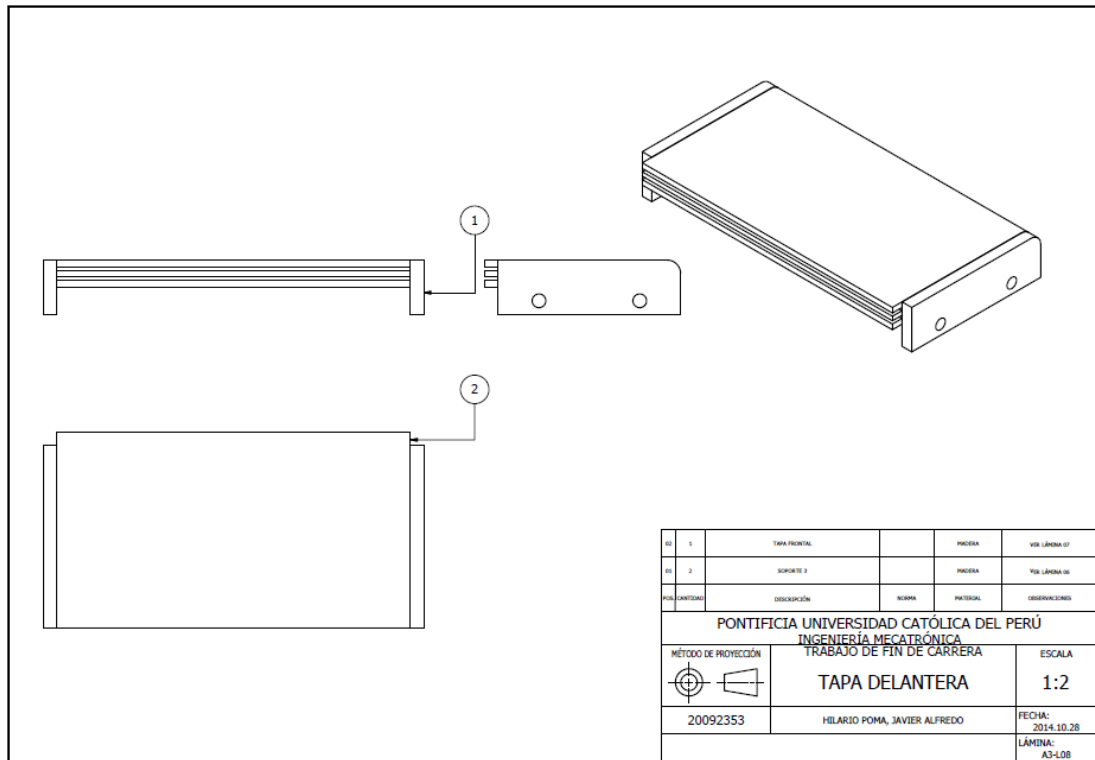


Figura 3.3.4: Plano de subensamble de la tapa delantera.  
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 3.3.5 se muestra el plano de sub-ensamble de la Tapa trasera de la estructura de madera.

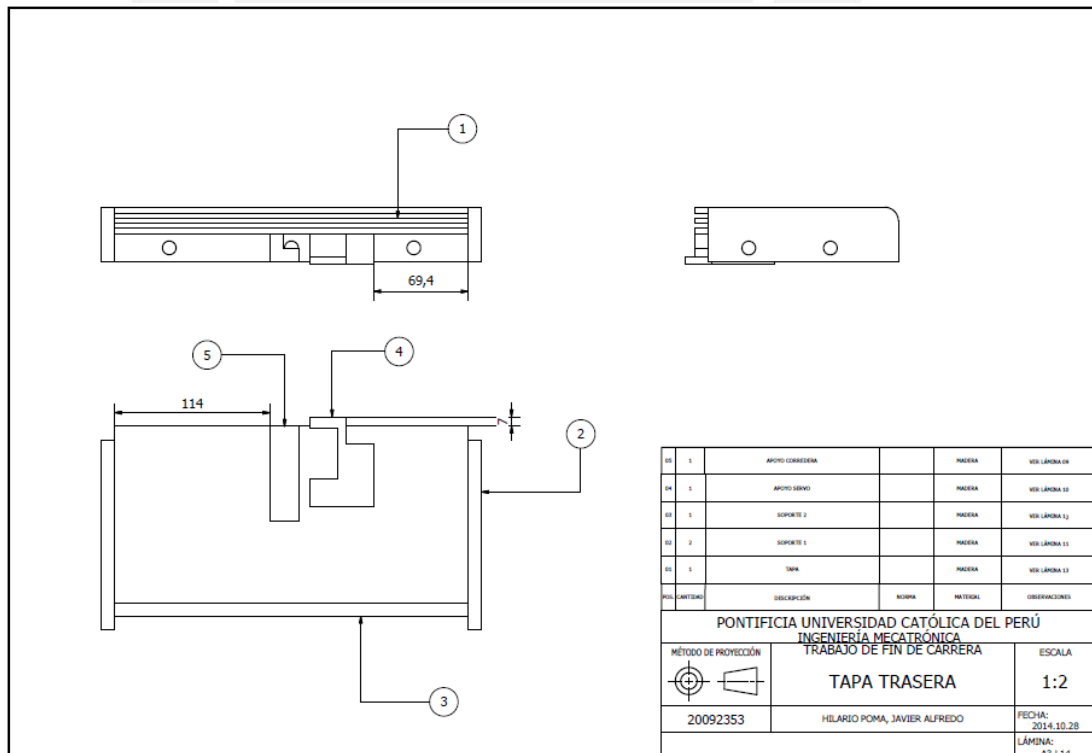


Figura 3.3.5: Plano de subensamble de la tapa trasera  
Fuente: Elaboración propia.

## 3.4 Diagramas esquemáticos de los circuitos del sistema mecatrónico

### 3.4.1 Circuito de potencia

La figura 3.4.1 muestra el esquemático del circuito de potencia, la alimentación de este circuito es de 220 V. En este circuito se encuentra el convertidor de voltaje alterno de 220 V a voltaje continuo de 12 V de modelo S-120-12 de la marca WEHO (ver anexo 6), y conectado a éste se encuentran los convertidores de voltaje LM7806 y LM7805. Estos convertidores convertirán la señal de voltaje continuo de 12 V a 6 V y 5 V respectivamente, y serán los encargados de suministrar el voltaje requerido por el circuito del sistema.

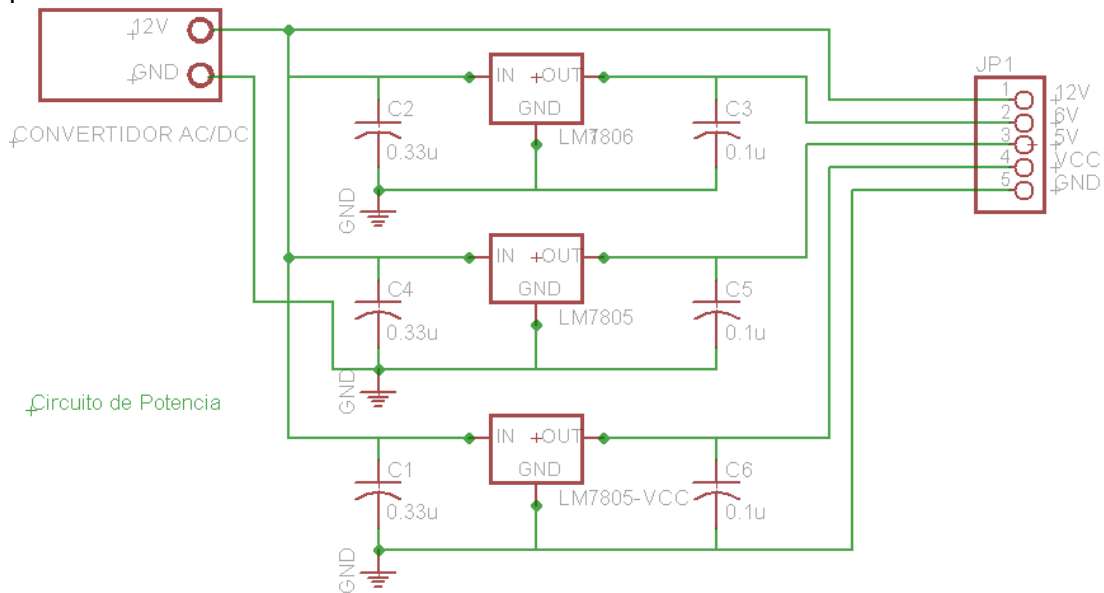


Figura 3.4.1: Esquemático del circuito de potencia  
 Fuente: Elaboración propia

### 3.4.2 Circuito electrónico

La figura 3.4.3 muestra el esquemático del circuito de control principal. Todos los voltajes de alimentación provienen del circuito de potencia. En este circuito se encuentra el microcontrolador ATmega8L y se muestran las conexiones existentes entre el microcontrolador y los periféricos seleccionados, que son: el motor DC, el servomotor, el sensor de ultrasonido y los 2 sensores de luz.

El ATmega8L es el cerebro de todo el sistema, y es el que envía las señales PWM al motor DC y al servomotor, controlando la velocidad del primer motor y controlando la posición angular del segundo motor. Además, recibe información de los 2 sensores de luz y determina si es necesario aumentar o disminuir la velocidad del motor DC. También, recibe información del sensor de ultrasonido, determina cuando la bobina (lugar donde se almacena el hilo procesado) está llena y detiene el funcionamiento del motor DC y del servomotor. En el caso extremo que los 2 sensores de luz se desactiven, lo cual implicará que el hilo se ha roto y también detendrá el motor DC y el servomotor. Se debe tener en cuenta que el funcionamiento de los optoacopladores es con lógica negativa, eso significa que si se desea activar el motor DC, se debe de enviar una señal digital de 0; lo mismo sucede con la señal PWM, si la onda es de 0% el motor funcionará a su máxima velocidad y si la onda es de 100% el motor estará detenido. Esto se puede ver con claridad en el anexo 7: Simulación electrónica.

Para un correcto funcionamiento del motor DC, se requiere de un driver o de un puente H para el motor. Es por ello que se optó por utilizar el circuito integrado L298 que es un driver de potencia para motores bipolares. La configuración de las conexiones para los pines del L298 se hizo con referencia a la figura 3.4.2. Además de ello, la resistencia de 10W del circuito de la figura 3.4.3 se obtiene también tomando como referencia la figura 3.4.2.

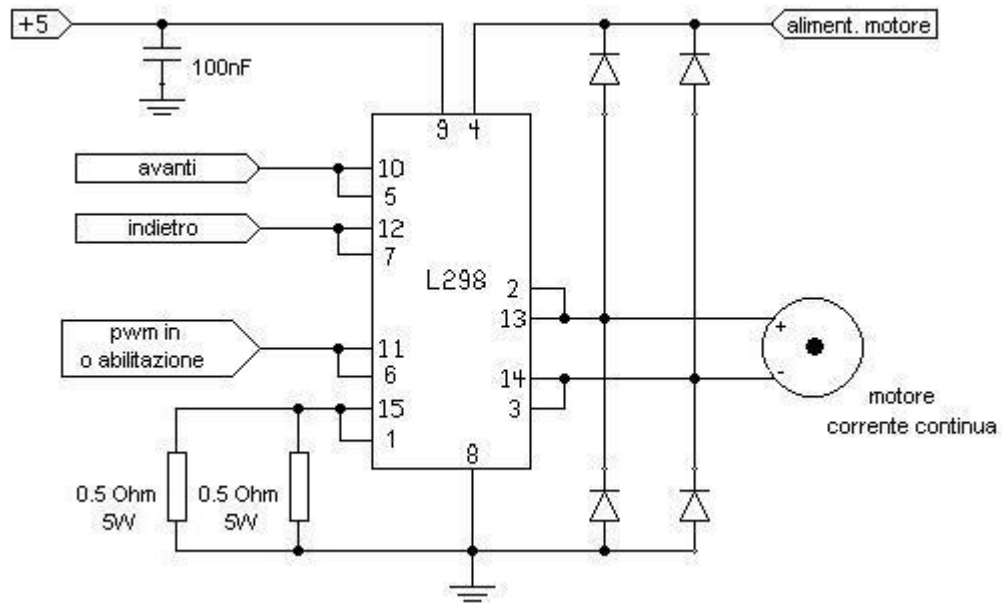


Figura 3.4.2: Esquema de referencia para el L298  
 Fuente: [22]

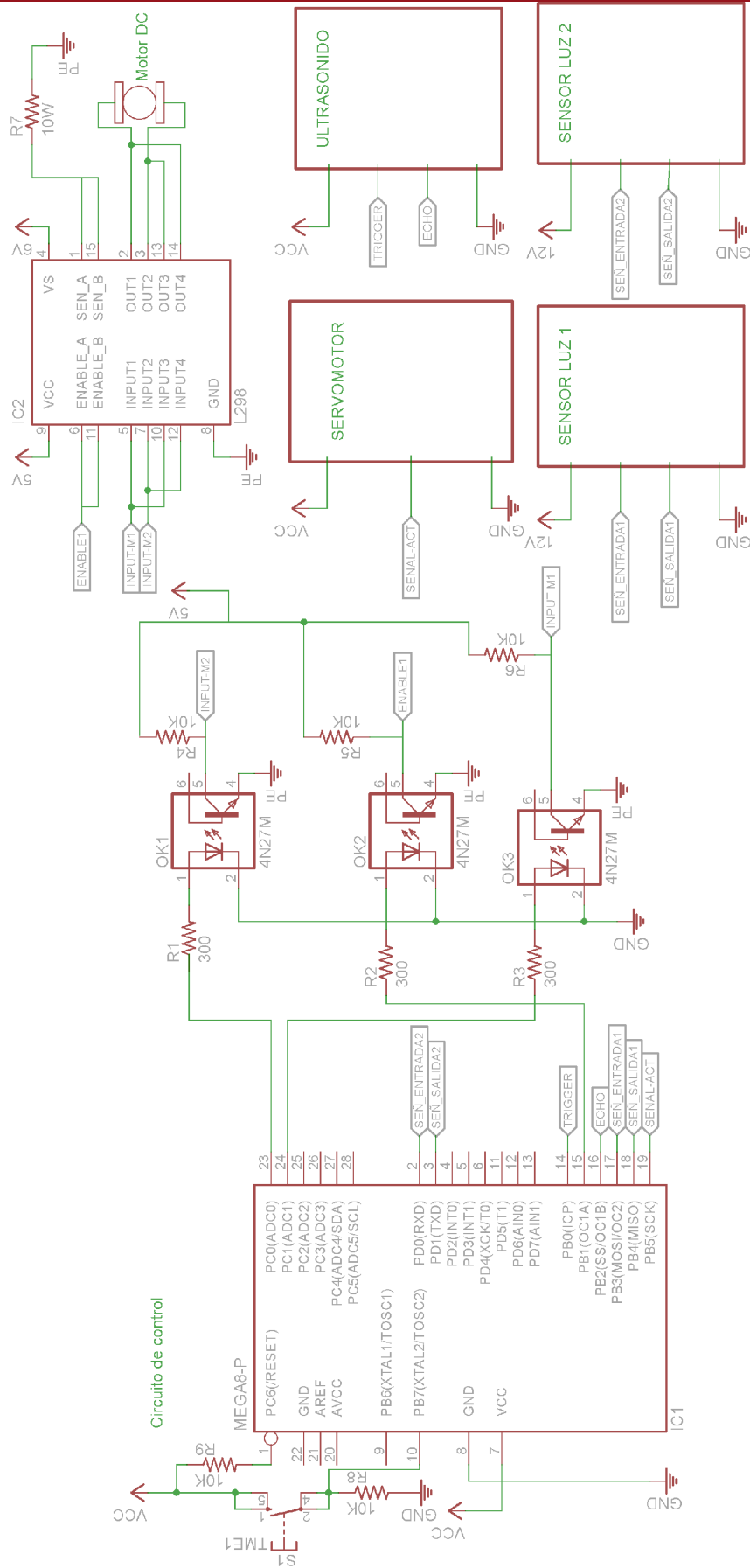


Figura 3.4.3: Diagrama esquemático del circuito de control.  
Fuente: Elaboración propia.

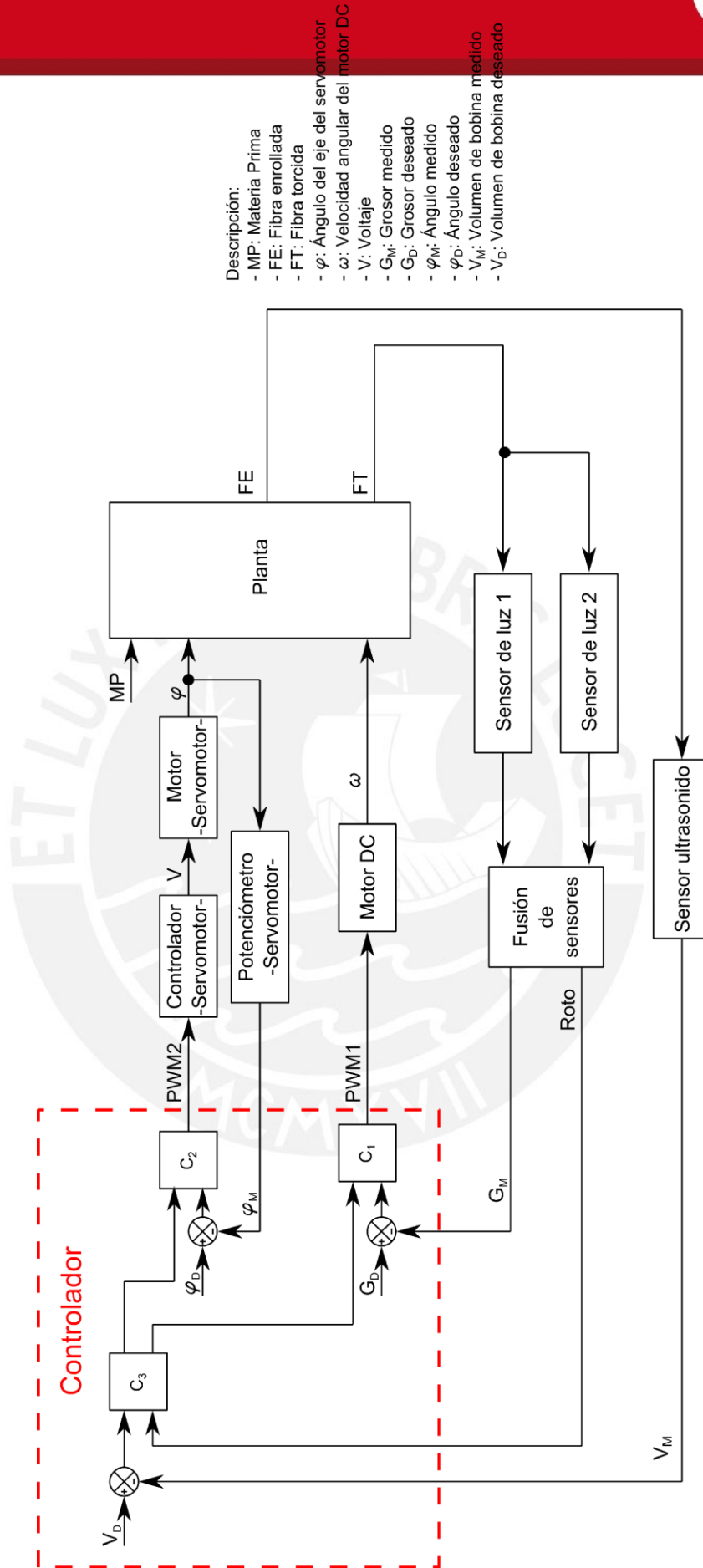


## 3.5 Diagramas del programa de control.

### 3.5.1 Diagrama de bloques

En la figura 3.5.1 se muestra el diagrama de bloques del sistema, este diagrama será de mucha utilidad cuando sea necesario implementar el circuito de control y realizar la programación respectiva.

Se observa que las entradas al sistema son la materia prima (MP), el grosor deseado ( $G_D$ ), el ángulo deseado ( $\varphi_D$ ) y el volumen de bobina deseado ( $V_D$ ). También se puede notar que hay 3 lazos de control; el primero que es el más rápido y afecta a la planta, es el circuito de detección del grosor deseado de la fibra torcida, que mediante la fusión de sensores determina si el hilo se encuentra dentro del rango de grosor deseado o no y dependiendo del resultado de la lógica implementada (ver anexo 3) modifica la velocidad del motor DC para variar el grosor de la fibra torcida. El segundo lazo es el del control del mecanismo guía, este lazo se encarga de modificar la posición angular del servomotor y de esta manera mover la cremallera en las posiciones definidas (ver anexo 2) y poder distribuir la fibra torcida alrededor de la bobina. Finalmente, el tercer lazo de control y el más lento, es lazo que controla la cantidad de fibra enrollada en la bobina; este control es realizado mediante el sensor de ultrasonido, que cuando detecte la presencia de materia prima a una distancia menor o igual a 70 mm se active, esto significará que la bobina alcanzó su máxima capacidad de almacenamiento (ver anexo 1.3), por lo cual enviará una señal para detener el funcionamiento del motor DC y del servomotor. La salida *Roto* del boque de fusión de sensores, según la lógica de los sensores, indica que la materia prima se rompió y por ello envía una señal para detener el funcionamiento del motor DC, el servomotor y los sensores del sistema.



Descripción:

- MP: Materia Prima
- FE: Fibra enrollada
- FT: Fibra torcida
- $\varphi$ : Ángulo del eje del servomotor
- $\omega$ : Velocidad angular del motor DC
- V: Voltaje
- $G_M$ : Grosor medido
- $G_D$ : Grosor deseado
- $\varphi_M$ : Ángulo medido
- $\varphi_D$ : Ángulo deseado
- $V_M$ : Volumen de bobina medido
- $V_D$ : Volumen de bobina deseado

Figura 3.5.1: Diagrama de bloques de control del sistema.  
Fuente: Elaboración propia.

### 3.5.2 Diagramas de flujo

En la figura 3.5.2 se muestra el diagrama de flujo principal; el cual consta de 3 subrutinas. Antes de poder ser iniciado (presionando el pulsador), requerirá que el usuario haya calibrado los sensores de luz (ver anexo 4) de acuerdo al grosor del hilo que desee obtener y que también haya ubicado el hilo guía. Luego, el sistema esperará a que se presione el pulsador y se emita la señal de inicio del programa para comenzar; si el sistema no detecta al hilo guía no comenzará el programa y esperará a que se presione nuevamente el pulsador y que detecte correctamente la fibra. Una vez detectada la fibra, se iniciarán el motor DC y el servomotor, se establecerán también la velocidad de giro del motor DC y la posición angular del servomotor. El programa seguirá funcionando hasta que el sensor de ultrasonido detecte que el volumen de la bobina (lugar donde se almacenará el hilo torcido) sea el deseado o hasta que suceda el caso más extremo que es cuando se haya roto el hilo; en ambos casos el sistema hará que el motor DC se detenga y que el servomotor regrese a sus posición inicial.

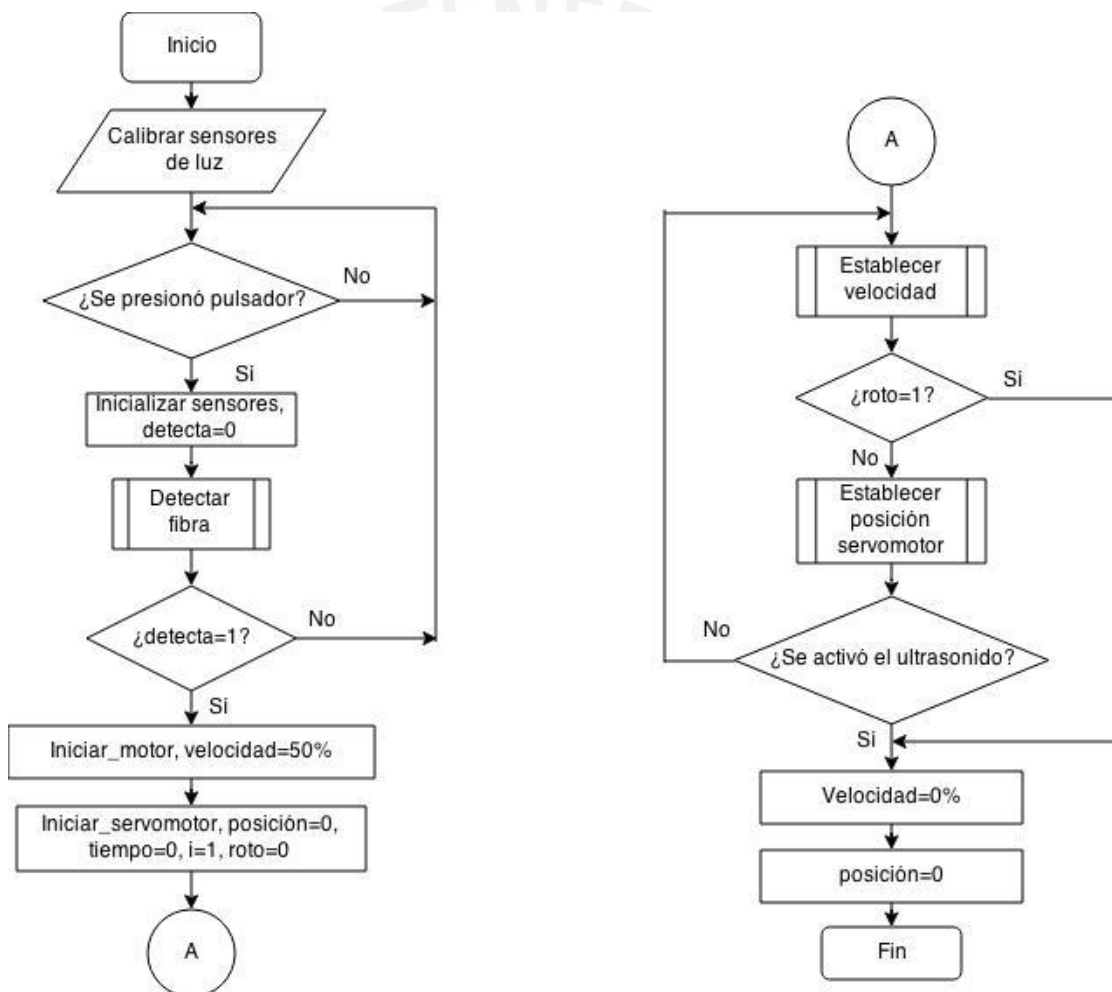


Figura 3.5.2: Diagrama de flujo del programa principal.  
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 3.5.3 se muestra el diagrama de flujo de la subrutina Detecta Fibra; la cual es la encargada de enviar una señal que indique que la fibra está correctamente ubicada y que ya se puede continuar con el programa correctamente.

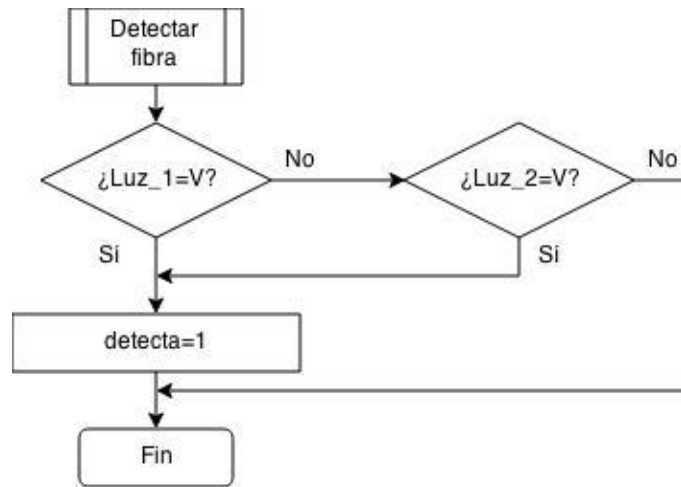


Figura 3.5.3: Diagrama de flujo de la sub-rutina Detectar Fibra.  
Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.5.4 se muestra el diagrama de flujo de la subrutina Establece Velocidad; la cual es encargada de modificar la velocidad del motor DC de acuerdo al grosor que tenga el hilo. Si el hilo es muy grueso, la velocidad aumentará y si el hilo es muy delgado, la velocidad disminuirá.

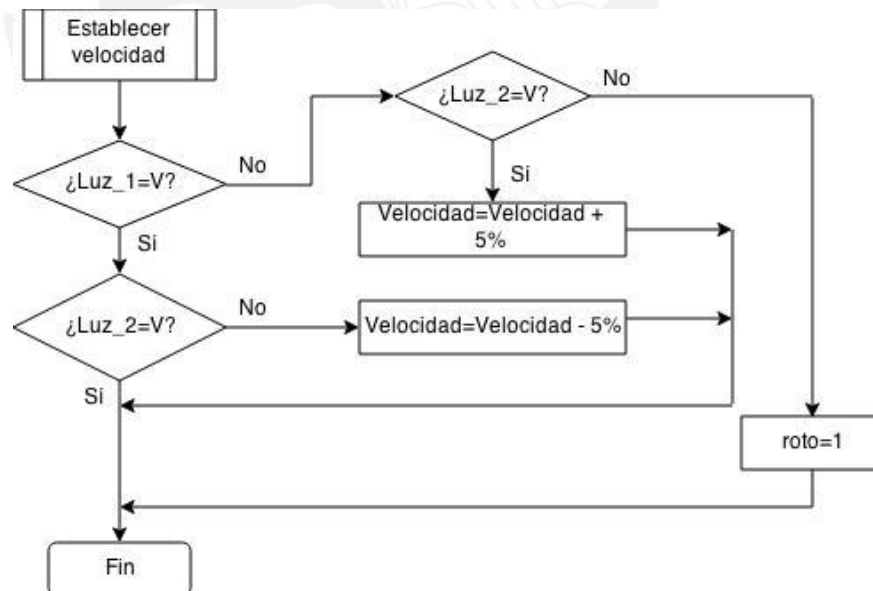


Figura 3.5.4: Diagrama de flujo de la sub-rutina Establecer Velocidad.  
Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.5.5 se muestra el diagrama de flujo de la sub-rutina Establece Posición Servomotor; la cual se encarga de darle una posición al ángulo del eje del servomotor para mover una cremallera en 10 posiciones y así obtener que el hilo torcido se distribuya a lo largo de la bobina donde se almacenará el hilo. El tiempo  $dt$  es el tiempo necesario que se debe de mantener al servomotor en una posición mientras se almacena el hilo, este  $dt$  se obtendrá experimentalmente.

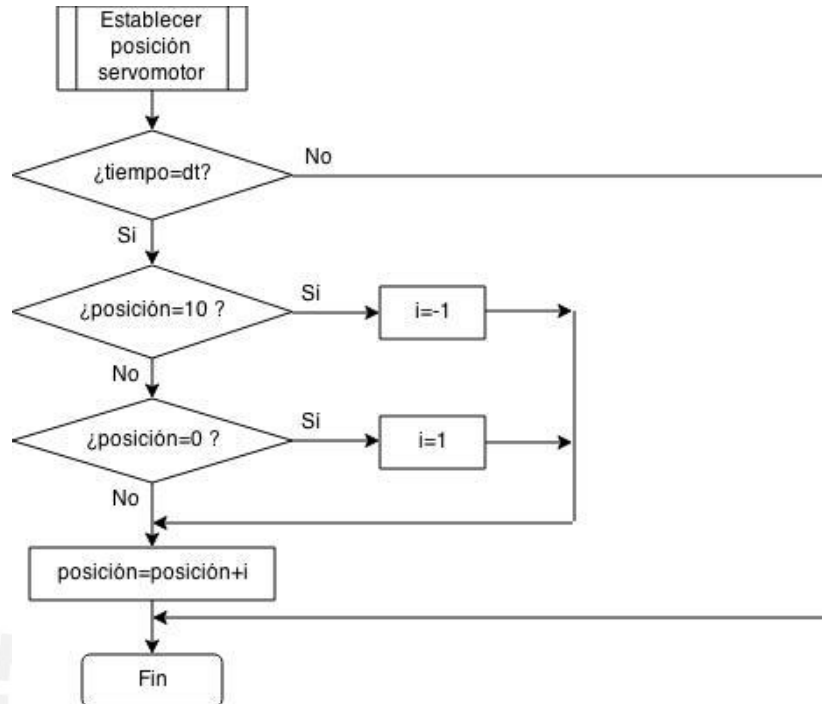


Figura 3.5.5: Diagrama de flujo de la sub-rutina Establecer Posición Servomotor.  
Fuente: Elaboración propia.

# Capítulo 4

## Presupuesto

### 4.1 Presupuesto electrónico

A continuación se muestra la tabla 4.1.1, en la cual se encuentra el presupuesto que tiene la parte electrónica del sistema; además se presenta el costo que tendría la importación de todos los elementos. Para las cotizaciones y los detalles del cálculo de impuestos y aduanas ver el anexo 9.

Tabla 4.1.1 Presupuesto de la parte electrónica del sistema

Componente	Cantidad	P. Unitario (USD)	P. Total (USD)	Procedencia	Observación
150:1 Micro Metal Gearmotor HP	1	15.95	15.95	EE.UU.	Sin impuesto
Pololu Micro Metal Gearmotor Bracket Pair	1	3.25	3.25	EE.UU.	Sin impuesto
HS 311 Standard	1	7.99	7.99	EE.UU.	Sin impuesto
HC-SR04	1	2.04	2.04	EE.UU.	Sin impuesto
S-120-12	1	7.37	7.37	China	Sin impuesto
4n27	3	0.6	1.8	EE.UU.	Sin impuesto
ATmega8	1	4.33	4.33	EE.UU.	Sin impuesto
Engranaje para el servomotor	1	4.35	4.35	EE.UU.	Sin impuesto
L298	1	4.67	4.67	EE.UU.	Sin impuesto
LM7805	1	0.67	0.67	EE.UU.	Sin impuesto
LM7806	1	0.7	0.7	EE.UU.	Sin impuesto
Capacitor 0.33uF	2	0.12	0.24	EE.UU.	Sin impuesto
Capacitor 0.1uF	2	0.37	0.74	EE.UU.	Sin impuesto
Resistencia de 300 ohm	3	0.1	0.3	EE.UU.	Sin impuesto
Resistencia de 10k ohm	3	0.3	0.9	EE.UU.	Sin impuesto
Resistencia de 10W	1	0.64	0.64	EE.UU.	Sin impuesto
Pulsador momentáneo	1	0.54	0.54	EE.UU.	Sin impuesto
Sensor de luz	2	120.9	241.8	EE.UU.	Con impuesto
Subtotal			298.28		
Impuesto de aduana y envío			29.43		
Total			327.71		

Se observa que el costo de la parte electrónica para la construcción de 1 Hiladora automática de fibra de lana de alpaca es de 327,71 dólares. Se utiliza el tipo de cambio vigente al día 30 de noviembre de 2014: 1 USD= S/. 2,924.

Por lo tanto el costo de la parte electrónica será de S/. 958,22.

## 4.2 Presupuesto mecánico

En la tabla 4.2.1 se muestra el presupuesto de la parte mecánica del sistema y se observa que el costo para la parte mecánica es de S/. 347, con impuestos incluidos.

Tabla 4.2.1 Presupuesto de la parte mecánica del sistema

Componente	Cantidad	P. Unitario (S/.)	P. Total	Observación	Procedencia
Perno M8x35 + Tuerca M8	11	2.5	27.5	Ninguna	Local
Arandela M8	11	1	11	Ninguna	Local
Perno M12x70 + Tuerca M12	8	5.5	44	Ninguna	Local
Arandela M12	8	1.5	12	Ninguna	Local
Chumacera d=12mm	4	15	60	Ninguna	Local
Pabito para el transporte	1	6.9	6.9	Ninguna	Local
Armella cerrada	1	2.5	2.5	Pack de 10 u.	Local
Madera + mano de obra de mecanizado	---	190	190	IGV incluido	Local
<b>Total</b>			<b>353.9</b>		

## 4.3 Presupuesto total

La tabla 4.3.1 muestra el presupuesto total necesario para la implementación de una (1) hiladora automática de fibra de lana de alpaca. En la tabla se observa que el costo es de **S/. 1312,12**.

Tabla 4.3.1 Presupuesto total del sistema

<b>Presupuesto Total</b>	
Componentes electrónicos	958.22
Componentes mecánicos	353.9
<b>Total</b>	<b>1312.12</b>

## Capítulo 5

### Conclusiones

- El sistema mecatrónico propuesto automatizará y mejorará el proceso de hilado; además genera un valor agregado al producto final, pues a comparación de un proceso de hilado tradicional, el sistema puede producir hilos que tengan una mejor precisión en cuanto al grosor se refiere.
- El costo de materiales del sistema es menor al costo de una hiladora motorizada y con un sistema parecido [11], pero que no es completamente automático (ver anexo 10).
- El uso de este equipo permitirá a los ganaderos y artesanos ahorrar tiempo y poder invertirlo en otras actividades como es el bordado o tejido.





# Bibliografía

- [1] MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO  
 2013 *Importación y exportación*  
 <<http://www.minag.gob.pe/portal/sector-agrario/pecuaria/importación-y-exportación>> Consulta: 12/11/2014
- [2] INFOALPACAS  
 2012 *Esquila*  
 <<http://infoalpacas.com.pe/esquila/>> Consulta: 12/11/2014
- [3] VADELANAS  
 2014 *Lana Cardada*  
 <<http://vadelanas.blogspot.com/p/normal-0-21-false-false-false.html>>  
 Consulta: 12/11/2014
- [4] I STUDY FASHION  
 2014 *De hilos*  
 <<http://istudyfashion.wordpress.com/2014/06/06/de-hilos/>>  
 Consulta: 12/11/2014
- [5] MUNDOLANAR  
 2013 *Workshop*  
 <[http://www.mundolanar.com/workshops/cursos\\_de\\_hilado\\_tradicional\\_con\\_rueca\\_y\\_con\\_huso.html](http://www.mundolanar.com/workshops/cursos_de_hilado_tradicional_con_rueca_y_con_huso.html)> Consulta: 12/11/2014
- [6] ROCKWELL AUTOMATION  
 2014 *Sensores de horquilla de plástico*  
 <<http://ab.rockwellautomation.com/es/Sensors-Switches/Photoelectric-Vision-Sensors/Plastic-Fork-Sensors>> Consulta: 12/11/2014
- [7] MICROPIK  
*Ultrasonic Ranging Module HC - SR04*  
 <<http://www.micropik.com/PDF/HCSR04.pdf> > Consulta: 12/11/2014
- [8] POLOLU ROBOTICS&ELECTRONICS  
 2014 *Micro Metal Gearmotors*  
 <<http://www.pololu.com/product/997>> Consulta: 12/11/2014
- [9] SERVOCITY  
 2014 *HS-311 Standard*  
 <[https://www.servocity.com/html/hs-311\\_standard.html#.VHqqaTGG9Qc](https://www.servocity.com/html/hs-311_standard.html#.VHqqaTGG9Qc) >  
 Consulta: 28/11/2014
- [10] ATMEL  
 2014 *ATmega8L*  
 <[http://www.atmel.com/images/atmel-2486-8-bit-avr-microcontroller-atmega8\\_l\\_datasheet.pdf](http://www.atmel.com/images/atmel-2486-8-bit-avr-microcontroller-atmega8_l_datasheet.pdf) > Consulta: 06/09/2014
- [11] TEJO LO QUE HILO  
 2014 *e-spinner de Ashford*  
 <<http://www.tejoloquehilo.es/e-spinner-de-ashford/432-comprar-rueca-electrica.html>> Consulta: 30/11/2014

- [12] QTC METRIC GEARS  
2014 *Injection Molded Spur Gears*  
< <http://www.qtcgears.com/KHK/newgears/KHK110.html>>  
Consulta: 12/11/2014
- [13] FAIRCHILD SEMICONDUCTOR  
2014 *LM78XX*  
<<https://www.fairchildsemi.com/datasheets/LM/LM7805.pdf>>  
Consulta: 12/11/2014
- [14] VISHAY  
2014 *4N2X*  
<<http://www.vishay.com/docs/83725/4n25.pdf>> Consulta: 15/11/2014
- [15] SPARKFUN  
2014 *L298 H bridge*  
<[https://www.sparkfun.com/datasheets/Robotics/L298\\_H\\_Bridge.pdf](https://www.sparkfun.com/datasheets/Robotics/L298_H_Bridge.pdf)>  
Consulta: 15/11/2014
- [16] ÁREA DE DISEÑO, Sección de Ingeniería Mecánica, Pontificia Universidad Católica del Perú.  
2010 *Dibujo Mecánico I. Material de enseñanza.* Lima: PUCP. Ciencias e Ingeniería
- [17] HAIF, Yusef y SHAHIN, Tamer  
2011 *Engineering Design Process.* Segunda edición. USA: CENGAGE Learning. ISBN-13: 978-0-495-66814-5
- [18] MARTINEZ, María, ALQUINTAS, Ana y OSORIO, Mauricio  
2001 *Alpaca: Manejo y procesamiento de la fibra en la región Aysén.* Boletín INIA N° 49 ISSN 0717-4820
- [19] NORTON, Robert  
2011 *DISEÑO DE MÁQUINAS – Un enfoque integrado.* Cuarta edición. Mexico: Pearson Education. ISBN: 978-607-32-0589-4
- [20] GUÍA DE LABORATORIO DE SENSORES Y ACTUADORES  
2013 *Actuador Lineal y Sensor de Ultrasonido.*  
Lima: PUCP. Ciencias e Ingeniería. Sección Ingeniería Mecatrónica
- [21] GUÍA DE LABORATORIO DE SENSORES Y ACTUADORES  
2013 *Control de Posición – Servomotores*  
Lima: PUCP. Ciencias e Ingeniería. Sección Ingeniería Mecatrónica
- [22] DIGILANDER.LIBERO.IT  
2014 *Sito Amatoriale di Electronica.*  
< [http://digilander.libero.it/marcopic/pag\\_circuiti.htm](http://digilander.libero.it/marcopic/pag_circuiti.htm)> Consulta: 16/11/2014