

ESCUELA DE INGIENERÍAS INDUSTRIALES

**Departamento:** Ingeniería de Sistemas y Automática

**Área de conocimiento:** Ingeniería de Sistemas y Automática

***TRABAJO DE FIN DE MÁSTER***

**Diseño y construcción de una bobinadora de filamento de plástico reciclado para impresión 3D**

Design and construction of a plastic filament winder machine for 3D printing.

**Máster en Mecatrónica**

**Autor:** Francisco Luque del Castillo

**Tutor:** J. Manuel Gómez de Gabriel

Málaga Septiembre, 2022

**DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD DEL**

**PROYECTO/TRABAJO FIN DE GRADO**

D./ Dña.: Francisco Luque del Castillo

DNI/Pasaporte: 25610227A. Correo electrónico: pacoluque1999@gmail.com

Titulación: Máster en Mecatrónica

Título del Proyecto/Trabajo: Diseño y construcción de una bobinadora de filamento de plástico reciclado para impresión 3D.

**DECLARA BAJO SU RESPONSABILIDAD**

Ser autor/a del texto entregado y que no ha sido presentado con anterioridad, ni total ni parcialmente, para superar materias previamente cursadas en esta u otras titulaciones de la Universidad de Málaga o cualquier otra institución de educación superior u otro tipo de fin.

Así mismo, declara no haber trasgredido ninguna norma universitaria con respecto al plagio ni a las leyes establecidas que protegen la propiedad intelectual, así como que las fuentes utilizadas han sido citadas adecuadamente.

En Málaga, Septiembre de 2022

Fdo.: Don Francisco Luque del Castillo.

**AGRADECIMIENTOS**

A mi familia, por la motivación que me han dado día tras día, en especial a mi padre, por la gran ayuda que me ha dado.

A mis compañeros de clase, ya que nos hemos ayudados unos a otros y más con los tiempos de la crisis sanitaria.

AÑADIR MAS AGRADECIMIENTOS

**RESUMEN**

Este proyecto trata de reciclar material plástico para luego su posterior uso.

**ABSTRACT**

The main objetive of this Final Degree Project is the design

Índice

[CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN 1](#_Toc114593398)

[1.1 Historia del movimiento 3](#_Toc114593399)

[1.2. Objetivo 3](#_Toc114593400)

[1.3. Plan de trabajo 4](#_Toc114593401)

[CAPÍTULO 2. DISEÑO DE LAS ETAPAS 6](#_Toc114593402)

[2. Diseño 8](#_Toc114593403)

[2.1. Estudio y análisis de posibles soluciones 8](#_Toc114593404)

[2.1.1. Primera etapa 8](#_Toc114593405)

[2.1.2. Segunda etapa 9](#_Toc114593406)

[2.1.3. Tercera etapa 13](#_Toc114593407)

[2.2. Soluciones concluidas 14](#_Toc114593408)

[2.2.1. Solución primera etapa 14](#_Toc114593409)

[2.2.2. Solución segunda etapa 15](#_Toc114593410)

[2.2.3. Solución tercera etapa 17](#_Toc114593411)

[2.3. Lista de materiales 18](#_Toc114593412)

[2.3.1. Lista materiales primera etapa 18](#_Toc114593413)

[2.3.2. Lista materiales segunda etapa 19](#_Toc114593414)

[2.3.3. Lista materiales segunda etapa 19](#_Toc114593415)

[CAPÍTULO 3. PROGRAMACIÓN 24](#_Toc114593416)

[3. Programación 26](#_Toc114593417)

[3.1. Conocimientos previos 26](#_Toc114593418)

[3.1.1. Fuente alimentación 26](#_Toc114593419)

[3.1.2. CNC shield 27](#_Toc114593420)

[3.2. Materiales necesarios 28](#_Toc114593421)

[3.2.1. Materiales primera etapa 28](#_Toc114593422)

[3.2.2. Materiales segunda etapa 28](#_Toc114593423)

[3.2.2. Materiales tercera etapa 28](#_Toc114593424)

[3.3. Programación 28](#_Toc114593425)

[3.3.1. Programación primera etapa 28](#_Toc114593426)

[3.3.2. Programación segunda etapa 28](#_Toc114593427)

[3.4. AOI 28](#_Toc114593428)

[3.4.1. Instalación 28](#_Toc114593429)

[3.4.2. Programación 29](#_Toc114593430)

[Capítulo 4. Puesta en Marcha 41](#_Toc114593431)

[4. Puesta en Marcha 43](#_Toc114593432)

[4.1. Golden Sample 43](#_Toc114593433)

[4.2. Working Instruction 43](#_Toc114593434)

[4.3. Star Up Check List 44](#_Toc114593435)

[4.4. Flow Chart 44](#_Toc114593436)

[4.5. PFMA 44](#_Toc114593437)

[4.6. Control Plan 45](#_Toc114593438)

[4.7. Documento de validación 45](#_Toc114593439)

[Capítulo 5. Conclusiones 46](#_Toc114593440)

[5.1. Conclusiones sobre la evaluación económica 48](#_Toc114593441)

[5.2. Conclusiones sobre la programación 48](#_Toc114593442)

[5.3. Conclusiones sobre la producción 48](#_Toc114593443)

[5.4. Conclusiones generales 49](#_Toc114593444)

[Capítulo 6. Bibliografía 50](#_Toc114593445)

Índice de Figuras

[Figura 1. Refrigeración líquida para filamento 3D 9](#_Toc114846318)

[Figura 2. Refrigeración por aire para filamento 3D 9](#_Toc114846319)

[Figura 3. Tensión aplicando tracción 10](#_Toc114846320)

[Figura 4. Tensión aplicando fuerza 10](#_Toc114846321)

[Figura 5. Tensión aplicando sistema no lineal para el control del espesor de planchas de acero 11](#_Toc114846322)

[Figura 6. Soporte de dial digital, creado por dy chen 12](#_Toc114846323)

[Figura 7. Sensor de espesor, efecto hall 12](#_Toc114846324)

[Figura 8. Soporte bobina 13](#_Toc114846325)

[Figura 9. Sistema de refrigeración 15](#_Toc114846326)

[Figura 10. Segunda etapa 15](#_Toc114846327)

[Figura 11. Soporte de rodamiento en el pivote de rotación 15](#_Toc114846328)

[Figura 12A. Soporte guía principio 16](#_Toc114846329)

[Figura 12B. Soporte guía final 16](#_Toc114846330)

[Figura 13. Engranajes. 17](#_Toc114846331)

[Figura 14. Diferentes bobinas. 18](#_Toc114846332)

[Figura 15. Soporte completo. 18](#_Toc114846333)

[Figura 16.Puente fuente alimentación. 27](#_Toc114846334)

[Figura 17.Driver A4988. 28](#_Toc114846335)

[Figura 25. Conexionado AOI 30](#_Toc114846336)

[Figura 26. Disposición de las luces 31](#_Toc114846337)

[Figura 27. Software AOI 31](#_Toc114846338)

[Figura 31. Stamp List 33](#_Toc114846339)

[Figura 34. Histograma soldadura 34](#_Toc114846340)

[Figura 35. Histograma Completo 35](#_Toc114846341)

Índice de tablas

[Tabla 1. Listado de materiales etapa 1 18](#_Toc113533183)

[Tabla 2. Listado de materiales etapa 2 19](#_Toc113533184)

[Tabla 3. Listado de materiales etapa 3 20](#_Toc113533185)

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

## Historia del movimiento

Este proyecto proviene de un movimiento medioambiental y ecológico. El movimiento quiere reducir la contaminación de los océanos. Actualmente se vierten más de 200Kg de basura en los océanos por segundo.

Esto es un problema bastante serio ya que contamina el planeta, y perjudica a las especies marinas. Incluso esta contaminación puede acabar con algunas especies marinas.

Este movimiento, Marea Plastic, está formado por un grupo de alumnos y profesores. Cuya función es diseñar y desarrollar máquinas y medios necesarios para el procesado de los plásticos, para su reciclado. Las máquinas son diseñadas y desarrolladas por los alumnos con ayuda de profesores.

Reciclar el plástico no es una tarea sencilla, ya que se necesitan varios procesos y es un poco complejo. Pero la universidad y profesores están facilitando recursos y material necesario para diseñar y crear las diferentes máquinas necesarias para procesar el plástico.

Lo bueno del reciclado de plástico es que se puede reciclar hasta el plástico de una botella, fundas de móviles, etc. Que normalmente acaban tiradas en la basura. Lo único que hay que diferencias los tipos de plásticos para su reciclado. Ya que no todos los plásticos tienen las mismas características.

Actualmente el grupo Marea Plastic está recibiendo desechos plásticos para reciclar de los alumnos, profesores y empresas que quieren colaborar con el movimiento, ayudando a reducir la contaminación en el planeta.

## Objetivo

El objetivo principal es diseñar y crear una máquina capaz de bobinar un filamento de plástico para su posterior uso en impresión 3D.

La idea principal es crear una máquina capaz de convertir el plástico que se usa en el día a día y darle un nuevo uso. Este uso es impresión 3D. Se quiere convertir material “basura” en un rollo de filamento para poder imprimir en 3D con impresoras de filamento. El problema principal de reciclar el plástico es que es un proceso algo complejo.

Se necesitan varias máquinas para poder reciclar el plástico. Se necesita una trituradora, que sea capaz de triturar el plástico y convertirlo en pequeñas escamas. Posteriormente, se necesita lavar el plástico, para eliminar residuos. Por último, se necesita una extrusora y bobinadora, la extrusora se encarga de derretir el plástico y expulsarlo con forma de filamento. La bobinadora se encarga de controlar el espesor del filamento y bobinarlo en un rollo vacío.

La bobinadora tiene que ser capaz de enfriar el filamento que sale de la extrusora hasta la temperatura de cristal. Esta es la temperatura en el que el plástico es sólido pero moldeable. Una vez conseguido esta temperatura, la bobinadora controla el espesor. Ya que el espesor tiene que ser de 1,75mm, este es un espesor común a la mayoría de impresoras 3D. Si el filamento tiene un espesor distinto o que varie, afecta a la calidad del rollo. Provocando obstrucciones o deslizamientos del motor que introduce el filamento en el extrusor de la impresora, estropeando así una impresión.

Una vez el filamento tenga el espesor deseado, el filamento se bobina de manera ordenada y correcta para evitar nudos y enredos.

## Plan de trabajo

La máquina se ha dividido en varias etapas o estaciones. Para así facilitar su diseño y construcción. El primer paso que se ha realizado es diseñar las etapas y se han dividido en tres.

La primera etapa es la que se encarga de enfriar el plástico, proveniente del extrusor, a su temperatura de cristal. Por ejemplo, el PLA tiene una temperatura de cristal de 60º. La temperatura de cristal es la temperatura de reblandecimiento del plástico, es decir, es una temperatura en la que el plástico se puede moldear sin llegar a derretirse. Esto se consigue controlado varios ventiladores pequeños reciclados.

La segunda estación, se encarga de controlar el diámetro. Para realizar esta tarea se ha creado un sensor de espesor, que a través de rodamientos y un sistema de palancas, según el espesor del hilo, la palanca mueve un imán, alejándolo o acercándolo a un sensor de efecto hall. Hay que añadir que el sensor de efecto hall es lineal, ya que si no lo fuera se complicaría mucho este sistema. A continuación, se controla el espesor del filamento, aplicando tensión según el diámetro obtenido del sensor. A mayor diámetro más tensión se ha de ejercer para reducir el espesor del hilo.

Si el diámetro es correcto, se mantendrá la tensión actual, y si el diámetro es menor se baja la tensión.

La última estación se encarga de bobinar el filamento. El problema de esta tarea es que el radio del rollo varia a medida que se va enrollando el filamento, por lo que, hay que estudiar alguna solución. Para bobinar el hilo sin ejercer mucha tensión al final y poca al principio, existen dos soluciones, variar la velocidad del motor para conseguir una velocidad tangencial constante o variar la tensión con la que se bobina.

Una vez desarrollado el planteamiento de la máquina, se debe de montar una maqueta funcional, que servirá de prueba. La idea es que esta maqueta sea funcional con diferentes clases de plásticos, como por ejemplo PLA, PETG, Filaflex, EDP, etc. La única diferencia entre estos plásticos es la temperatura de cristal y la tensión que hay que ejercer para controlar el espesor. La temperatura de cristal se puede conocer por los datasheets de los plásticos y las tensiones que hay que ejercer se pueden obtener de forma experimental.

Por último, una vez se desarrolle la maqueta, hay que crear una capa software que se encargue de controlar las tensiones, temperatura, espesor, bobinado. Para ello se usará un microcontrolador. La primera estación controla la temperatura, por lo que debe de encender o apagar los ventiladores para enfriar el filamento. La segunda estación, se encarga de que el espesor sea el óptimo, variando la tensión. La tercera, se encarga de bobinar el filamento de forma correcta, para su posterior uso.

# CAPÍTULO 2. DISEÑO DE LAS ETAPAS

## Diseño

En este capítulo se realizará un estudio de los posibles diseños de la bobinadora, diferenciándolos en las tres etapas definidas en el apartado 1.3.

El objetivo principal es diseñar y realizar un análisis de los materiales necesarios para el montaje de la bobinadora. Para ello, se analizará posibles soluciones para cada etapa, por separado.

Por último, se concluirá la solución aportada, y se diseñarán las piezas necesarias para la máquina. Estas piezas serán diseñadas en la herramienta SolidWorks.

### Estudio y análisis de posibles soluciones.

En este subapartado se realizará un estudio y análisis de las posibles soluciones de cada etapa por separado.

Para realizar este estudio hay que conocer la función que debe desempeñar cada etapa de la máquina.

La primera etapa se encarga de enfriar el filamento de plástico

La segunda etapa se encarga de controlar el espesor

La tercera y última etapa se encarga de bobinar el filamento en un rollo de impresión 3D.

Una vez conocido las funciones de cada etapa, se realiza el análisis de cada etapa por separado.

Se analizarán múltiples soluciones, y se concluirá cuál es la solución más optima en el apartado 2.2.

#### Primera etapa

Esta etapa se encarga de enfriar el filamento hasta la temperatura de cristal, para luego poder moldear el filamento.

Existen varias soluciones para este problema, lo que se busca es refrigerar el filamento, y existen varios tipos de refrigeraciones. Las más comunes son refrigeración líquida y refrigeración por aire.

La refrigeración líquida es simple, solo hace falta un compartimento sellado donde se encuentra el líquido, y el filamento entra en este compartimento enfriando así el filamento. El problema principal es que es un poco complicado de controlar. Se podría controlar la temperatura del líquido y con eso se controlaría la temperatura de salida del filamento.

La refrigeración líquida también es algo compleja de manejar, ya que tener un compartimento lleno de líquido es algo que puede producir problemas a largo plazo. Se podría picar el material con el que está hecho el compartimento y tener fugas. Esto puede provocar que no se controle bien la temperatura o incluso hacer algún cortocircuito con algún componente electrónico. Para evitar esto se debe usar líquidos dieléctricos. Es decir, líquidos que no conduzcan la electricidad. Como por ejemplo el agua destilada, o algún refrigerante de ordenador.

Una taza de cafe

Descripción generada automáticamente con confianza media

Figura 1. Refrigeración líquida para filamento 3D

La refrigeración por aire es más simple de manejar y controlar, ya que la refrigeración por aire consta de uno o más ventiladores, que se pueden controlar por independiente. El control de esta refrigeración es más simple, debido a que se puede controlar los ventiladores por separado, y según la temperatura de salida se pueden encender o apagar los ventiladores.

La refrigeración por aire se realiza colocando uno o varios ventiladores en una estructura por donde pasa el filamento, esta estructura puede ser un tubo de metal o un perfil donde se colocan los ventiladores.

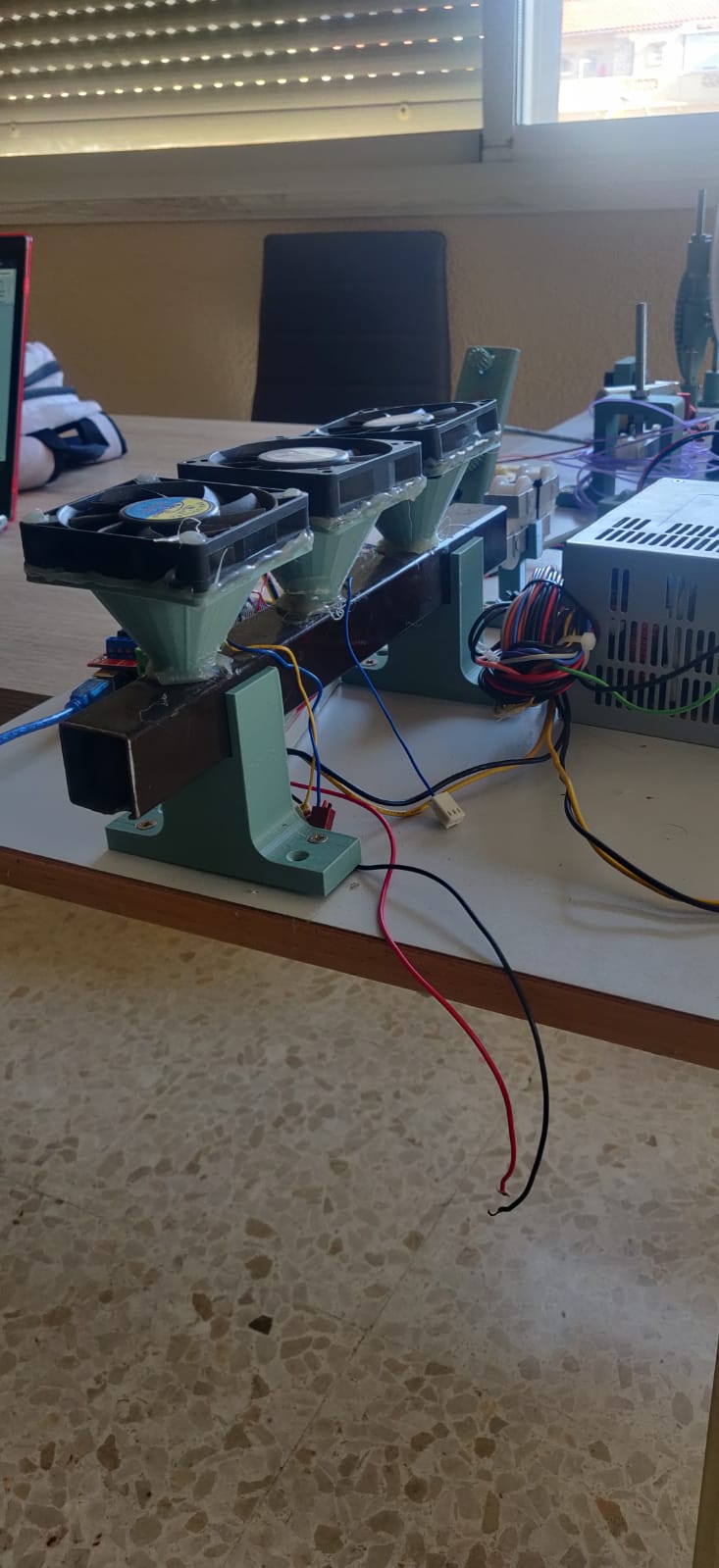


Figura 2. Refrigeración por aire para filamento 3D

#### Segunda etapa

En esta etapa se pretende controlar el espesor del filamento cuando este se encuentre a temperatura de cristal. Existen varias posibilidades, y se van a analizar dos posibles soluciones. Ambas soluciones se basan en controlar la tensión del filamento. Al variar la tensión del filamento, se puede variar el espesor.

Existen varias formas de aplicar tensión al filamento, una de ellas es modificando la velocidad, obteniendo velocidades diferentes en los motores que mueven el filamento esto aplica tracción al filamento.

Imagen que contiene Interfaz de usuario gráfica

Descripción generada automáticamente

Figura 3. Tensión aplicando tracción

Siendo V1 la velocidad del motor principal y V2 la velocidad del motor que gira más rápido para ejercer una fuerza a tracción. Esta solución es simple pero compleja de controlar, y además es costosa ya que se requieren dos motores.

Otra posible solución es aplicar una tensión directamente en el filamento, de forma similar como controlan el espesor de las planchas metálicas. Esto se consigue ejerciendo fuerza sobre el filamento moviendo un pistón con un rodamiento en la punta, como puede verse en la figura 4.

Diagrama

Descripción generada automáticamente

Figura 4. Tensión aplicando fuerza

También es posible controlar la tensión ejercida, con un motor paso a paso, variando el ángulo de un eje de pivote. Este sistema se usa en el sistema de laminación de planchas de acero. El modelo puede identificarse en la figura 5.

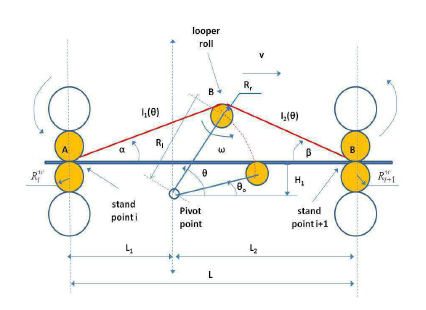


Figura 5. Tensión aplicando sistema no lineal para el control del espesor de planchas de acero

EXPRIMIR UN POCO EL DOCUMENTO DE Nonlinear optimal control fot the hot-steel rolling mill system

El sistema no lineal de control de espesor es un sistema con retardo ya el sensor que mide el espesor. El sensor es la entrada del sistema, que se encuentra alejado de la salida del sistema. Pero con la correcta calibración del sensor se puede obtener buen resultado.

En el mercado existen varias opciones de sensores de espesor. La manera más sencilla es controlar el espesor con un sensor dial digital (Digital dial indicator, en inglés). Este sensor es simple de usar, ya que indica el recorrido que recorre la punta del sensor con una precisión de 0,01mm. Si se coloca en la punta del sensor el filamento, se podrá medir con facilidad la variación de espesor del filamento. Para colocarlo, se puede diseñar un soporte a partir de modelos ya creados en internet. Véase un ejemplo en la figura 6.

Un reloj despertador

Descripción generada automáticamente con confianza media

Figura 6. Soporte de dial digital, creado por dy chen

Otra solución sería crear el propio sensor a través de un sistema de palancas. Estaría formado por imán y un sensor lineal de efecto hall. Se coloca el filamento en un lado del sistema de palancas y en lado opuesto se coloca el imán. Según la distancia entre el sensor y el imán determinará el espesor del filamento. Véase el esquema en la figura 7.

Una mano muestra un objeto en la mano

Descripción generada automáticamente con confianza media

Figura 7. Sensor de espesor, efecto hall

Esta es una solución simple y barata de realizar. Debido a su bajo costo en materiales y a la eficacia que puede llegar a tener.

REFERENCIAR EL MODELO

#### Tercera etapa

Esta etapa es la que se encarga de mover y almacenar de forma ordenada el filamento reciclado. El filamento debe de ser almacenado en una bobina, para su posterior uso en impresoras 3D.

Esta etapa es la más simple de diseñar, ya que solo consta de un soporte donde se coloque el rollo, y este sea capaz de rotar con una velocidad controlable. Para ello se podría usar un motor paso a paso o un motor CC.

Se puede usar algunos modelos disponibles que se encuentran en internet. El problema de usar soportes de internet puede llegar a ser la compatibilidad de la bobina. La idea es que sea lo más universal posible, y no todos los modelos son aptos para esta tarea. Por tanto, la mejor idea será desarrollar un soporte que sea universal a todas las bobinas que se encuentran en el laboratorio del grupo Marea Plastic.



Figura 8. Soporte bobina

### Soluciones concluidas

En este subapartado se van a concluir las soluciones aportadas para cada parte. Listando las piezas y materiales necesarias.

Las soluciones aportadas son aquellas que sean simples de controlar y no supongan un gran gasto. Ya que la idea de este movimiento es concienciar a la gente de que hay que reciclar y darle una segunda vida a los materiales que se tienen por casa.

Por tanto, para desarrollar la bobinadora se han usado diseños simples pero funcionales, y se ha reciclado la mayor cantidad de piezas. Ya que la idea es el reciclado, la máquina también debía tener partes recicladas.

Como en el apartado 2.1, se realizará un análisis de las soluciones aportadas de cada etapa por separado. Dando una explicación del motivo de la selección escogida.

También se realizará un listado de piezas que se han usado y se mostrará los diseños necesarios para las diferentes etapas.

#### Solución primera etapa

En la primera etapa se ha decidido escoger la refrigeración por aire, ya que es más fácil de controlar y se de usar. Además de que los ventiladores se pueden reciclar con facilidad.

Se pueden usar ventiladores de alto flujo, turbinas o incluso ventiladores de ordenador pequeño.

Se ha seleccionado la refrigeración por aire debido a su sencillez y a la facilidad de encontrar los materiales necesarios.

En este caso se ha usado 3 ventiladores de corriente continua de ordenador de 70mm. Estos ventiladores pertenecían a la refrigeración de cpu de un ordenador antiguo.

Otro material necesario para esta etapa es el soporte del ventilador, este se ha diseñado e impreso en 3D. Aunque otra solución sería usar embudos u otro material para sujetar los ventiladores y enviar el flujo de aire hacia el filamento.

Por último, se necesita un soporte de la refrigeración, por el filamento pueda circular libremente. Este puede ser un perfil metálico o de otro material. En este caso se ha seleccionado un perfil cuadrado. Este perfil ha sido facilitado por la universidad, debido a que no se iba a usar. Se le han realizado tres agujeros donde se colocarán los embudos con el ventilador. Véase el esquema en la figura 9.

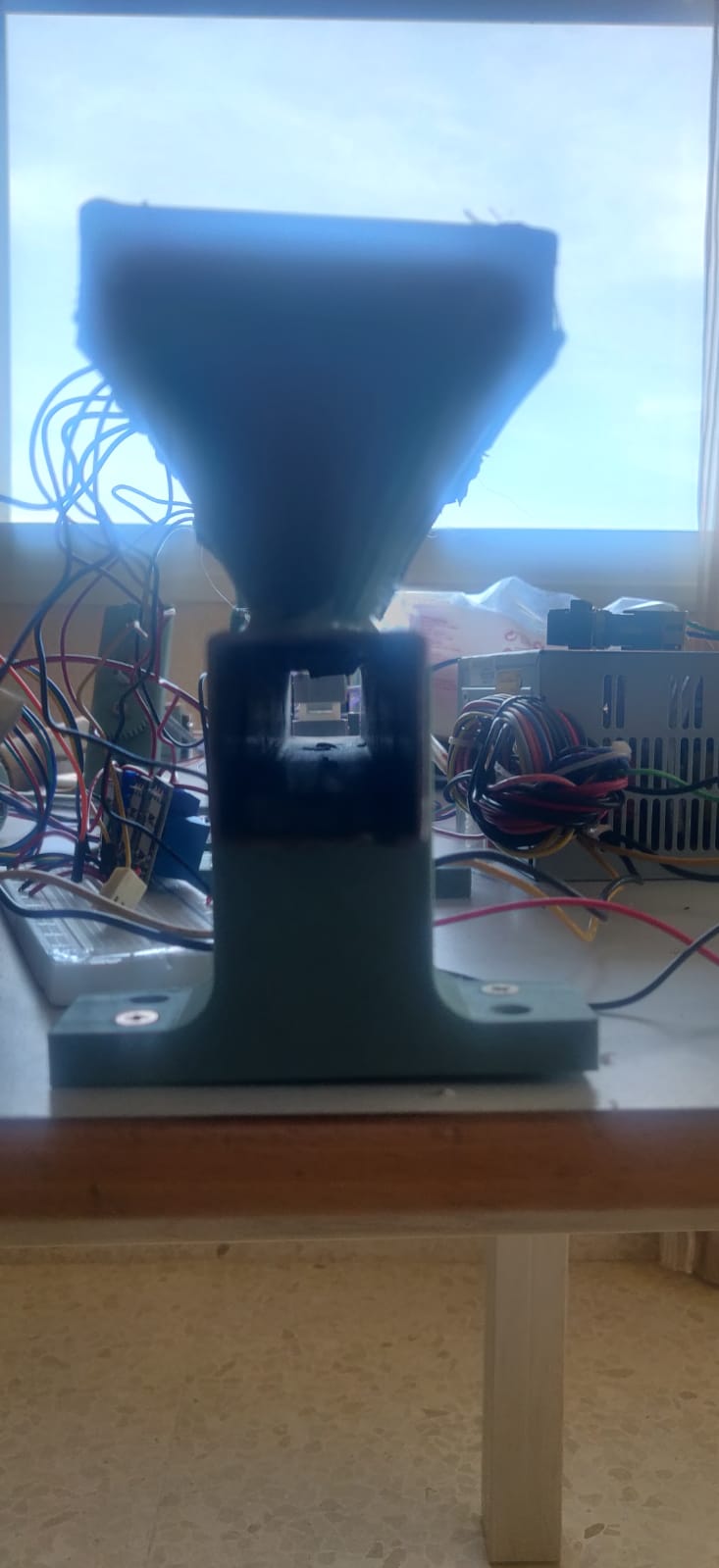


Figura 9. Sistema refrigeración

Para finalizar se ha diseñado un pequeño soporte, pie, para apoyar el perfil metálico y poder atornillarlo a una mesa donde se está construyendo la máquina.

Véase una lista de los materiales necesarios en el apartado 2.3.

#### Solución segunda etapa

En esta etapa se ha escogido la solución del control no lineal de espesor que se usa para controlar el espesor de las láminas de acero. Debido a que es un modelo que se puede encontrar bien detallado, y no es complicado de implementar, a parte de que los materiales necesarios no son muy costosos.

Figura 10. Segunda etapa

El principal material necesario es un motor paso a paso, este realizará el control del ángulo, modificando así el espesor del filamento.

El motor paso a paso controla el ángulo de un pivote de rotación. Para realizar la función de pivote se ha usado una varilla roscada, para que sea luego más fácil de insertar un rodamiento en la punta.

Para colocar un rodamiento en la varilla se ha realizado un diseño e impreso en 3D de un soporte con un hueco hexagonal para introducir a presión una tuerca. Con esta tuerca se facilita el roscado a la varilla roscada. Se puede ver la pieza en la figura 11.

Figura 11. Soporte de rodamiento en el pivote de rotación.

El rodamiento consta de un soporte con una entrada hexagonal para una tuerca y además consta de un hueco para introducir un rodamiento, que tenía por casa de unos patines, que es un modelo estándar. Se ha diseñado una guía que encaja con el rodamiento y así mejora la sujeción del filamento a la hora de ejercer la fuerza. Todo esto se sujeta al soporte con un pasante que se ha diseñado e impreso en 3D.

Otro material necesario son los puntos de guía, es decir, puntos por donde pasa el filamento y esta ajustado y controlado. Restringiendo la libertad de movimiento del filamento. Solo tiene libertad de avanzar de forma horizontal.

Los puntos de guía constan de unos rodamientos reutilizados de una impresora de papel. Se han diseñado unos soportes para estos puntos guía. El primer punto se encuentra justo a la salida de la refrigeración de aire y el segundo se encuentra al final de la etapa. Siendo el motor la parte que se encuentra en el medio. Véase los dos soportes con los rodamientos en las figuras 12.

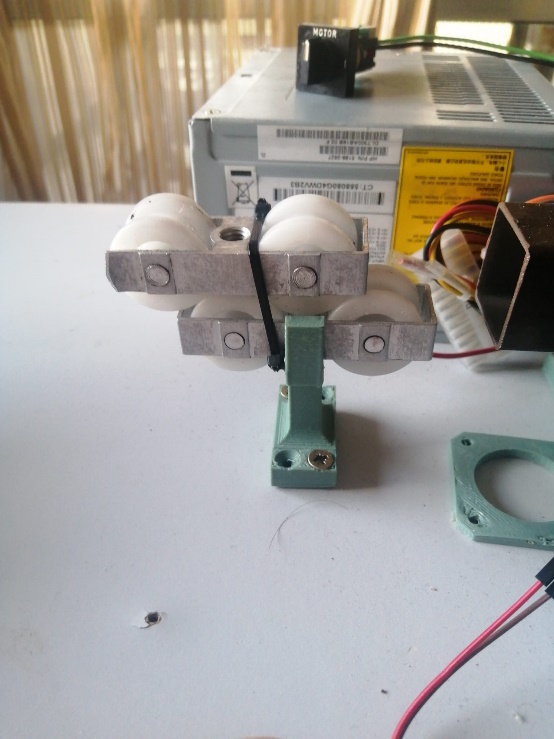
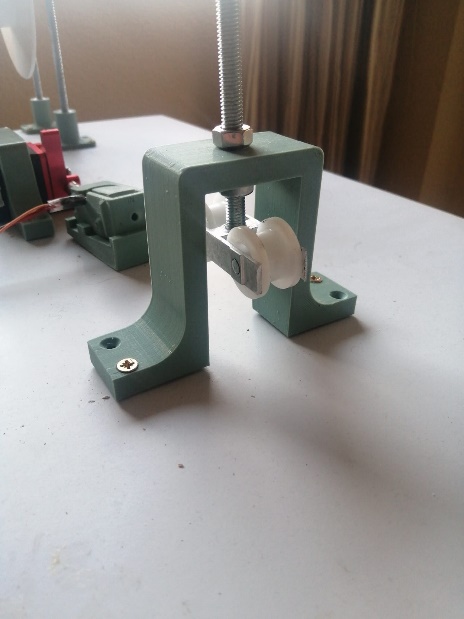
 

Figura 12A. Soporte guía principio Figura 12B. Soporte guía final

Como se puede apreciar en la figura 12A, el soporte es fijo, consta de dos rodamientos uno encima del otro que restringe el movimiento del filamento en todas las direcciones menos en la que interesa. Que es el avance. El soporte es fijo ya que la altura de la salida de la primera etapa es fija y no hace falta ajustarla. En cambio, el soporte final es de altura variable, esto se debe a un mejor ajuste y así poder ajustar mejor las tensiones que se van a ejercer, cuanto más arriba esté, menos tensión ejercerá el motor. Debido a que el ángulo que se genera es menor. Véase este ángulo (el ángulo del que se genera con el soporte final es el ángulo β) en la figura 5.

#### Solución tercera etapa

La solución para esta etapa es simple. Se han comparado varios modelos por internet, pero ninguno era estándar y daría un buen resultado. Ya que la mayoría de los soportes de bobinas que existen en internet es para desbobinar el filamento y colocarlas en una impresora 3D. Esto es incompatible con la solución que se está buscando.

Se busca un soporte que sea capaz de girar la bobina con la finalidad de bobinar de forma ordenada el filamento. Por tanto, se ha diseñado un soporte desde cero.

Como la velocidad tiene que ser controlable hace falta un motor paso a paso. El motor paso a paso se puede situar en la parte superior del soporte, ejerciendo la fuerza de rotación directamente en la bobina o situado en la mesa. Se ha seleccionado colocarlo en la mesa atornillado. Para que el modelo del soporte sea más simple.

Para transmitir el movimiento de rotación existen varias opciones, una sería usar una cadena con dos engranajes o correa. Y la otra solución sería usar engranajes directamente. Se ha optado por la solución de los engranajes porque es más simple de implementar y así también se ahorra tiempo en buscar una correa adecuada.

Figura 13. Engranajes.

Los engranajes están diseñados para transmitir el mismo par y velocidad que transmite el motor. La relación de transmisión es 1:1. Existen dos engranajes pequeños de 13 dientes y otro engranaje en medio de 58 dientes. Si se usa la fórmula de transmisión se obtiene que la relación es 1:1.

Siendo Vi y Zi la velocidad y el número de dientes de la rueda de entrada. Vo y Zo son la velocidad y el número de dientes respectivamente del engranaje de salida. La relación que se obtiene es:

Si se tiene 3 engranajes como es el caso quedaría:

Si Zpequeñainput y Zpequeñaoutput son iguales, la relación de transmisión es 1.

A continuación de modela el soporte. Para realizar esta tarea se necesita conocer las medidas del orificio de la bobina. Usando varios modelos de bobina, se obtiene que el orificio de media tiene XXXmm. Ahora viene el principal problema. ¿Qué sistema hay que implementar para hacer girar la bobina? Hay diversas soluciones. Que el pasante donde se coloca la bobina este muy ajustado y por fricción es capaz de mover la bobina. Pero esta solución no es común a todas las bobinas e incluso puede fallar resbalando y no se bobinará de forma correcta.

Otra solución posible es usar algún punto de apoyo para impulsar la bobina. Si e observa varios modelos de bobinas (Véase en la figura 14) existe un hueco pequeño. Si se usara un pasante pequeño, este podría impulsar sin problemas a la bobina. El problema que este hueco en todas las bobinas no tiene la misma localización ni tiene las mismas medidas. No obstante, se puede hacer una media y hacer un pasante que se pueda adaptar a todas las bobinas. Así se consigue una solución bastante buena y sin problemas de deslizamiento.

Figura 14. Diferentes bobinas.

Por último, se ha diseñado un soporte que mantiene y sujeta todo el sistema. El diseño consta de 4 pies con una tuerca incrustada, que va atornillada a la base (una mesa). En el pie se introduce una varilla roscada M8 con una altura de 150mm. La siguiente parte que se diseña es un punto de apoyo para el engranaje grande que se encuentra a mitad de altura. Por último, se diseña el soporte donde irá el pasante de la bobina que realiza el movimiento.

Para evitar rozamientos, y problemas con la fricción se ha usado un poco de grasa de litio, mejorando la efectividad, y disminuyendo el esfuerzo del motor.

Figura 15. Soporte completo.

### Lista de materiales

En este apartado se recogen un resumen de los materiales necesarios para las diferentes partes.

#### Lista materiales primera etapa

En este punto se concluyen la lista de materiales necesarios para construir la primera etapa de la bobinadora.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Lista** | **Número de unidades** | **Medidas** | **Material** | **Impreso 3D** |
| **Ventiladores** | **3** | **70mm** |  |  |
| **Soporte ventilador** | **3** | **70mm** | **PETG** | **Si** |
| **Tubo de enfriamiento** | **1** | **310x30x30mm** | **Aluminio** |  |
| **Pie** | **2** |  | **PETG** | **Si** |
| **Tornillos** | **4** | **M4** |  |  |

Tabla 1. Listado de materiales etapa 1

Los diseños de las piezas impresas en 3D se pueden encontrar en el anexo I apartado A.

#### Lista materiales segunda etapa

En este punto se concluyen la lista de materiales necesarios para construir la segunda etapa de la bobinadora.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Lista** | **Número de unidades** | **Medidas** | **Material** | **Impreso 3D** |
| Puntos guía | 2 |  | PVC |  |
| Soporte primera guía | 1 |  | PETG | Si |
| Soporte segunda guía | 1 |  | PETG | Si |
| Tuercas | 2 | M8 | Aluminio |  |
| Varilla roscada | 1 | M8 x 120mm | Aluminio |  |
| Motor paso a paso | 1 |  |  |  |
| Sujeción motor paso a paso | 1 |  | PETG | Si |
| Soporte rodamiento pivote | 1 |  | PETG | Si |
| Rodamiento patines | 1 | Rext 22, Rint 8 mm |  |  |
| Guía rodamiento | 1 | Rext 24, Rint 22 mm | PETG | Si |
| Tuercas | 2 | M5 | Aluminio |  |
| Varilla roscada | 1 | M5 x 140 mm | Aluminio |  |
| Sensor espesor | 1 |  | PETG | Si |
| Soporte sensor espesor | 1 |  | PETG | Si |
| Rodamientos pequeños | 4 | 623ZZ |  |  |
| Muelle de bolígrafo | 1 |  |  |  |
| Sensor efecto hall lineal | 1 |  |  |  |
| Imán | 1 | 25 x 6 x 2 mm |  |  |
| Tornillo | 1 | M6 |  |  |
| Tornillos | 8 | M4 |  |  |

Tabla 2. Listado de materiales etapa 2

Los diseños de las piezas impresas en 3D se pueden encontrar en el anexo I apartado B.

#### Lista materiales tercera etapa

En este punto se concluyen la lista de materiales necesarios para construir la tercera etapa de la bobinadora.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Lista** | **Número de unidades** | **Medidas** | **Material** | **Impreso 3D** |
| Pies | 4 |  | PETG | Si |
| Pieza A soporte | 1 |  | PETG | Si |
| Pieza B soporte | 1 |  | PETG | Si |
| Pieza C soporte | 1 |  | PETG | Si |
| Motor paso a paso | 1 |  |  |  |
| Sujeción motor paso a paso | 1 |  | PETG | Si |
| Engranaje | 1 | Z = 13 | PETG | Si |
| Engranaje | 1 | Z = 58 | PETG | Si |
| Tornillo | 2 | M8 | Aluminio |  |
| Pasante bobina | 1 |  | PETG | Si |
| Bobina vacía |  |  |  |  |
| Varilla roscada | 4 | M8 x 160mm | Aluminio |  |
| Tuercas | 19 | M8 | Aluminio |  |
| Tornillos | 10 | M4 | Aluminio |  |
| Arandelas |  | M8 | Aluminio |  |

Tabla 3. Listado de materiales etapa 3

Los diseños de las piezas impresas en 3D se pueden encontrar en el anexo I apartado C.

.

# CAPÍTULO 3. PROGRAMACIÓN

## Programación

En este capítulo se realizará la programación de la bobinadora. Para realizar esta tarea es necesario conocer las herramientas necesarias. Es indispensable hacer un estudio de los materiales que se van a utilizar y si es posible reciclar el mayor número de componentes.

El hardware que se usará para la programación es un microcontrolador Arduino Mega. Una vez conocido el hardware hay que listar los componentes necesarios que se van a utilizar.

Una vez listado los componentes necesarios, hay que comprobar que librerías o herramientas hacen falta. Por ejemplo, no se puede usar un motor paso a paso sin un driver capaz de controlarlo. Por tanto, hay que saber que driver es necesario.

### Conocimientos previos

En este apartado se repasarán los conocimientos previos necesarios para programar el microcontrolador Arduino.

Lo primero es conocer el Arduino, es un microcontrolador programable, que tiene varios puertos digitales y analógicos, tanto de entrada como de salida. Un dato importante es la alimentación del Arduino. Se puede alimentar por el cable tipo USB B, o por una alimentación externa de máximo 20V, aunque lo recomendable es 12V. Si se alimenta por el cable tipo USB B el voltaje de entrada es 5V.

A continuación, hay que tener en cuenta que los motores paso a paso necesitan un driver para programarlos. Se podría usar un par de driver sueltos en una protoboard, pero como se necesitan 3 motores paso a paso. Es mejor usar una Ramp Shield. Es un módulo de expansión que se usa para impresoras 3D, CNC, máquinas de grabado laser, etc. Debido a su facilidad de conectar los drivers y su sencilla programación.

#### Fuente alimentación.

En este subapartado se hablará de un punto importante, la fuente de alimentación.

No es solo la fuente de alimentación del Arduino, tambiés es la fuente de poder de los ventiladores y motores. Los ventiladores y motores paso a paso funcionan a 12V. Por lo que se necesita una fuente capaz de suministrar 12V.

Se podría buscar una fuente de alimentación en el mercado, existen y no son muy caras. Pero la idea es reciclar lo máximo posible. Debido a este requerimiento, se ha usado una fuente de alimentación de un ordenador de sobremesa.

Los componentes de un ordenador de sobremesa funcionan a 3.3 , 5 y 12V, siendo 12V lo que se necesita. Hay que investigar que cables otorgan la potencia deseada, debido a que podemos encontrar cables de diferentes colores. En la figura 16 se pueden ver la tensión que otorga cada cable según el color. Se necesita el color amarillo, este otorga 12V. Un dato a tener en cuenta es que cable usar. S puede usar los cables que salen de la extensión SATA, aunque es posible que no tenga la capacidad de otorgar la potencia que se necesita. Por eso se ha decidido usar los cables que salen de la extensión de la CPU. Porque estos cables están preparados para otorgar mayor potencia y no se verá limitado.

Si se enchufa a la corriente la fuente de alimentación de un ordenador, no se encenderá, ya que es el ordenador quien manda la señal de encendido. Hay que buscar la forma de puentear el ordenador y poder encenderla.

La señal de encendido la da la placa base a través de los cables que van conectados a la placa. Suele sen un conector de 24 Pines. Lo que hace la placa base es cerrar o abrir el circuito según si se quiere apagar o encender la fuente de alimentación. Una vez encendida el ordenador arranca.

Los cables que hay que puentear es el cable “*PS\_ON”* con un cable “*COM”,* véase en la figura 16 que cables hay que puentear de forma gráfica.

Diagrama

Descripción generada automáticamente

Figura 16. Puente fuente alimentación.

Una vez puenteado se encenderá la fuente de alimentación. Para puentear la fuente de alimentación se ha colocado un interruptor reciclado de una máquina antigua. Facilitando así el encendido y apagado de la máquina.

#### Ramp shield

RepRap Arduino Mega Pololu Shield (su acrónimo es Ramps) es una expansión del microcontrolador Arduino. La shield que se usará para este proyecto es la Ramps V1.4.

Hay que conocer con detalle el esquema electrónico de la ramps, debido a que la distribución de los pines y puertos es diferente a la del Arduino.

Los puertos en el Arduino se distribuyen de forma ordenada y con una enumeración, en cambio en la ramps dos pines consecutivos puede que no coincidan con dos pines consecutivos en el Arduino. Por tanto, hay que mirar bien cada pin en la ramps y su correspondencia en el Arduino. Puede verse un esquema simplificado en la figura 17.

Figura 17.Es quema Ramps.

Una vez conocido el esquema de la Ramps, se conecta al Arduino y se conectan los drivers de los motores paso a paso.

Los drivers seleccionados para este proyecto son los A4988, es un driver simple y sencillo de programar. Los drivers es el componente que se encarga de controlar los pasos de los motores paso a paso.

Figura 18.Driver A4988.

### Materiales necesarios

En este punto se resumirá los componentes electrónicos, eléctricos y mecánicos para el correcto funcionamiento de cada etapa por separado.

#### Materiales primera etapa

La primera etapa es simple conceptualmente. Solo se requiere unos ventiladores y un interruptor que encienda y apague los ventiladores.

Para ello, se han seleccionado 3 ventiladores de cpu de un ordenador de sobremesa antiguo.

Los interruptores pueden ser mecánicos o electromecánicos, es decir, un interruptor normal, un switch o un relé de 5V que se pueda controlar con el Arduino.

La opción seleccionada son los relés. Usando relés se puede hacer un control de temperatura automático y se simplifica la tarea de enfriamiento bastante.

#### Materiales segunda etapa

La segunda etapa es la más compleja, esta se encarga de controlar el espesor del filamento, y no es tarea fácil.

Para esta tarea se puede usar un motor paso a paso, pero los motores que se han probado y usado no tienen la suficiente fuerza, por tanto, se diseñó una reductora orbital. Pero aun así seguía siendo insuficiente. A veces se saltaba un paso, y esto puede ser un problema, se puede solucionar haciendo otro control de ángulo con un encoder. Esto es bastante complejo y se ha buscado otra solución.

Otra solución es usar un servo motor con un gran torque. Esto facilitaría el trabajo, ya que se ahorra el control de ángulo, es innecesario. Tiene mayor torque que el motor paso a paso, por lo que no se necesita reductoras.

Por último, hace falta un sensor de espesor, este se ha realizado con un sensor de efecto hall lineal. Con un sistema de palancas, según el espesor del filamento un imán se acerca o se aleja del sensor y esa medida equivale al espesor del filamento.

A continuación del sensor de espesor se coloca un motor, que mueve el filamento, este motor debe de ir sincronizado con la velocidad lineal del filamento a la hora de salir de la extrusora. Se ajustará experimentalmente.

#### Materiales tercera etapa

La tercera etapa es más simple que las etapas anteriores, ya que solo hace falta un motor que sea capaz de girar la bobina y pueda bobinar el filamento.

La parte más compleja de esta parte es sincronizar la velocidad lineal del filamento con la velocidad de rotación de la bobina. Este factor que relaciona las velocidades se puede obtener de forma experimental a la hora de ensamblar y calibrar la máquina.

### Programación

En este punto se resumirá los códigos usados para el correcto funcionamiento de la máquina. Se estructurará por separado para una mejor comprensión. Por último, se explicará como se ha unido los códigos y los cambios que se han realizado para la sincronización y su correcto funcionamiento.

El entorno que se ha usado para programar la máquina ha sido el propio entorno de Arduino, que es muy parecido a C++. El entorno propio de Arduino permite el uso y manejo de diferentes librerías que facilitarán el trabajo de la programación.

#### Programación primera etapa

Como se ha mencionado en capítulos anteriores apartados, el primer apartado trata de controlar la temperatura del filamento, para ello debe de controlar el encendido y apagado de los ventiladores.

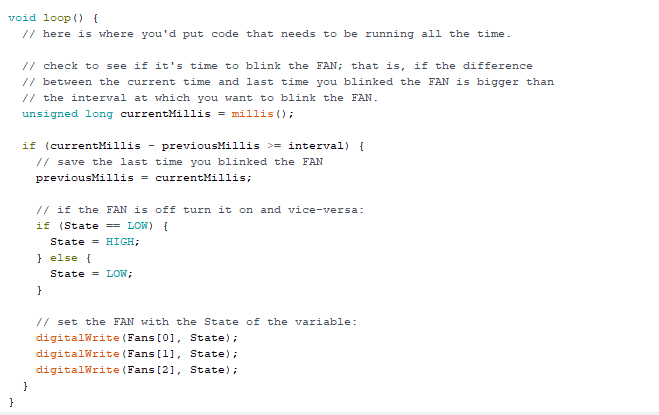
Para realizar esta tarea se ha usado un relé por ventilador, el relé tiene 3 entradas, un positivo, un negativo y una señal que activa o desactiva el relé. Los pines positivo y negativo se conectan a 5V y a GND de la protoboard. (Véase los terminales positivos de 5v y GND en la figura 19)

La señal encargada de controlar el encendido se conecta a las salidas digitales del Arduino. Viendo el esquema de la Ramps (Figura 17), se concluye que los pines necesarios para esta tarea serán 16, 17 y 23.

En el código adjunto a continuación se muestra como se pueden activar y desactivar los ventiladores. De forma periódica y sin control. Solo para comprender su funcionamiento.

Texto

Descripción generada automáticamente



La primera parte del código se declaran los pines como constantes enteras. La siguiente variable que se observa “*State*” sirve para declarar el estado de los ventiladores, encendido o apagado. Las dos siguientes variables que se encuentran sirven para controlar el periodo de la señal de encendido y apagado.

A continuación, se observa la función setup, donde se declara el modo del pin, en este caso se declara los pines como salidas digitales.

Por último, se encuentra la función loop, esta función es la función principal que está en constante repetición. Es decir, que esta función se ejecuta constantemente de forma cíclica, como un bucle.

Hay que tener en cuenta que la función loop es un bucle, si se quiere crear una señal cuadrada o de encendido y apagado se debe de evitar a toda costa el uso de delays, ya que es una mala práctica. Para realizar esta tarea se crea una condición que según el tiempo que ha pasado desde la ejecución anterior, es capaz de crear la señal deseada. Para eso sirven las variables que se encuentran al principio “*previousMillis*” y “*interval*”. Siendola marca de tiempo de cuando se actualizó la señal por última vez, y el intervalo de tiempo que debe de pasar para la actualización de la señal, respectivamente.

Dentro de esta condición, se puede observar como se cambia el estado de los ventiladores según el estado anterior. Pero esto es solo un ejemplo.

#### Programación segunda etapa

La programación del horno es muy simple, gracias a la interfaz que se muestra en la pantalla que incluye el horno. En esta se muestran las zonas que tiene el horno y las

#### Programación tercera etapa

#### Programación conjunta

### AOI

En este apartado se va a explicar los pasos seguidos para la instalación de la máquina y las configuraciones requeridas para una PCB.

#### Instalación

Antes de pasar con la instalación se va a hacer una lista de ítems necesarios. Lo principal y más importante es la máquina. A continuación, se necesita un ordenador, pero no todos los ordenadores y sistemas operativos son compatibles. Hay que usar un Mac con una versión XXXXXXX, este ordenador venía incluido en el pack. Por último, pero no es obligatorio un disco duro externo, para hacer copias de seguridad.

El primer paso es conectar todos los cables de alimentación tanto de la máquina como el del ordenador. El siguiente paso, es realizar la interconexión del ordenador con la máquina a través de dos cables: ¿¿¿¿¿ UN VGA?????? y un usb tipo B. Se puede observar el conexionado en la figura 25.



Figura 25. Conexionado AOI

Por último, hay que tener en cuenta el funcionamiento de la máquina, estas mueven un cabezal que incorpora una cámara y unos focos de luces de colores. La máquina puede tardar, en inspeccionar una PCB completa, de media unos 30 segundos. Por tanto, se puede deducir que la máquina tendrá que realizar movimientos rápidos y esto producirá vibraciones. Una solución posible es utilizar una mesa robusta ya que el apoyo de la máquina tiene una capa de goma que absorbe parte de las vibraciones. Como se puede ver en la figura 25, se ha usado una mesa de madera bastante robusta y pesada.

#### Programación

Antes de explicar la programación, se debe de comprender el funcionamiento y los componentes de la máquina.

Los focos de luces, de los que se hablaron en el apartado 3.4.1, están colocadas con orientaciones diferentes, se puede ver la disposición de las luces en la figura 26. Gracias a esta orientación la cámara capta diferentes colores reflejados en las soldaduras dependiendo de la inclinación de estas.

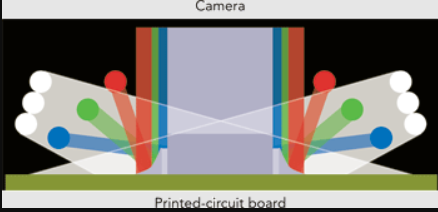


Figura 26. Disposición de las luces

Los focos de luces, de los que se hablaron en el apartado 3.4.1, están colocadas con orientaciones diferentes, se puede ver la disposición de las luces en la figura 26. Gracias a esta orientación la cámara capta diferentes colores reflejados en las soldaduras dependiendo de la inclinación de estas.

Antes de continuar hay que indicar, que la figura 26 es solo ilustrativa, las luces de la AOI Marantz X22 no vienen dispuestas con esta configuración. La luz con la orientación más horizontal en el caso de la AOI Marantz X22 es la luz roja, en el caso de la figura 26 la luz es azul. La luz que está dispuesta con la máxima inclinación en la máquina Marantz X22 es la luz azul y en el caso de la figura 26 es roja. La configuración de la orientación de la luz verde si que coinciden, la de la máquina Marantz X22 y la de la figura 26.

Para continuar con la programación hay que abrir el programa, que se abre automáticamente al iniciar el ordenador. Una vez abierto, se cargará el último programa ejecutado. Véase en la figura 27.

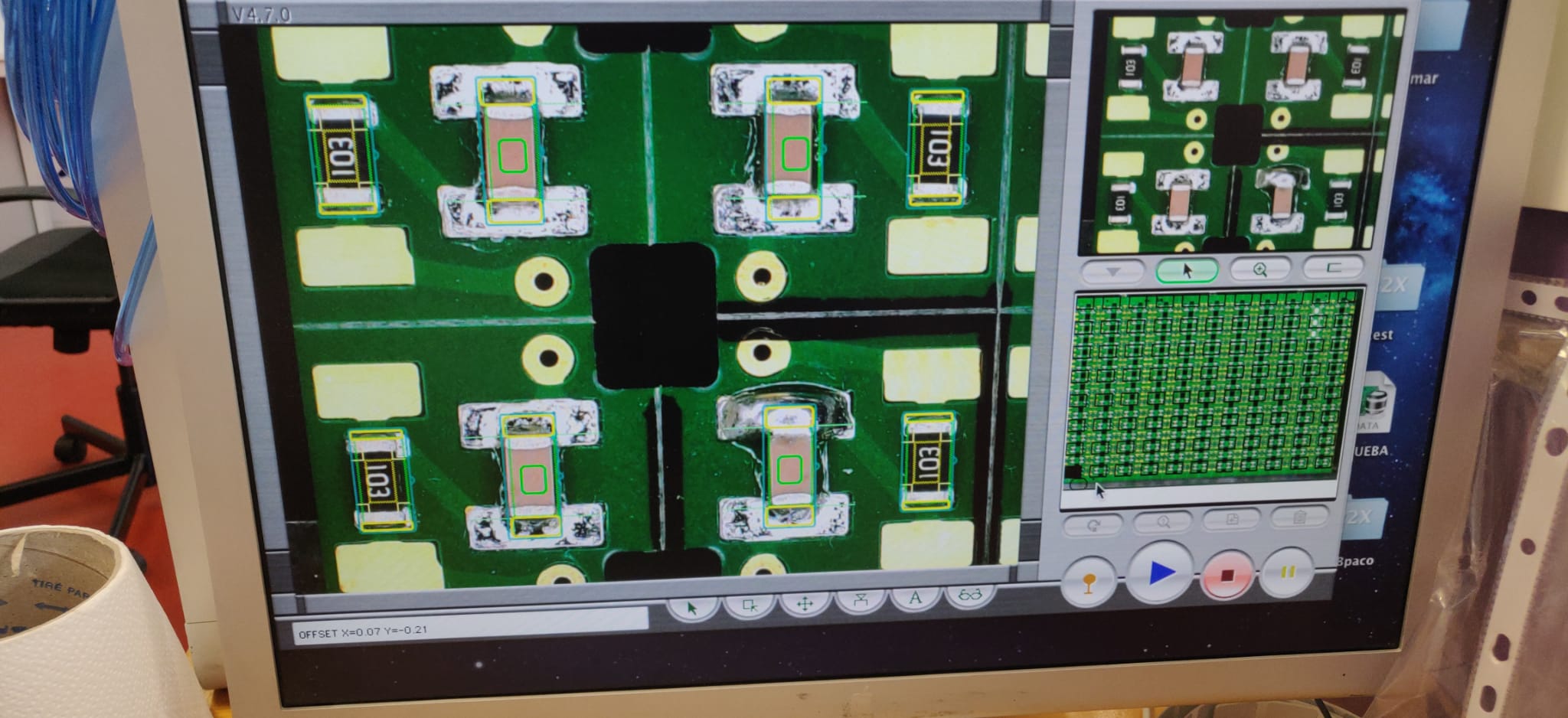


Figura 27. Software AOI

Para configurar un nuevo programa, se clickea en file, new, y ya desde hay tendremos nuestro nuevo programa. A continuación, se realizará una breve explicación de que son los botones que se ven en la figura 27 en la parte inferior. El primero empezando por la izquierda, con forma de mouse, sirve para seleccionar. El segundo empezando por la izquierda, con forma de cuadrado con un mouse en la esquina, sirve para crear las stamps, las stamps son los recuadros verdes, que se pueden ver en la figura 27 encima de los componentes, que se explicaran más adelante. El tercer botón sirve para desplazarse por la PCB. El cuarto botón sirve para intercalar entre caras, es decir, cambiar la cara que se quiere comprobar, esto es útil si la PCB tiene dos caras, en el caso de la PCB diseñado por la empresa Premo no es útil ya que solo tiene una cara. Por último, las gafas, cuya función principal es enseñar una vista general de la PCB, y cuando se termina de ejecutar el programa puedes ver los fallos en esta vista general, puede comprobarse en la figura 28.

FIGURA 28 VISTA GENERAL PCB MAPA

Una vez entendidos los botones, se puede empezar a explicar cómo se programa la máquina. Para comenzar, hay que seleccionar los fiduciales con la pestaña de stamp, una vez seleccionado, se clickea en la pestaña de “NANANANANANBATMAN”, y se selecciona la opción “assing to fiducial”, una vez hecho esto se hace doble click encima del recuadro creado para configurar las luces de detección, en este caso se comprueba que se detecta mejor el fiducial con una luz timo DOAM. Una vez hecho esto, se repite con otro fiducial. Se recomienda que sean dos ficuales situados en esquinas opuestas, es decir si un fiducial está en la esquina izquierda inferior, el otro fiducial a detectar tiene que estar en la esquina derecha superior.

FIGURA 29 FIDUCIALLLLLL

Se va a explicar que es un stamp, un stamp es una composición de componentes a revisar, comprobar. Es decir, es un conjunto de bloques que revisa la AOI. Principalmente los stamps están compuestos de un bloque que comprueba el body, el cuerpo del componente. Se comprueba el tamaño y la posición. A continuación, se encuentra un bloque que detecta el color o el código del componente. Por último, están los bloques más importantes que comprueban las soldaduras usando la tecnología, de los focos de colores, explicada al principio de este apartado.

FIGURA 30 STAMPS

Una vez comprendido que es un stamp y la función que desempeña, se necesita colocar este stamp encima de cada componente. Hay dos opciones, o se crea de cero el stamp, o se usa una librería que incluye la máquina y se modifican los parámetros necesarios. Como los componentes que se van a usar son simples y comunes, se elige la opción de usar la librería.

Se abre la carpeta de stamps, haciendo click en el botón de stamps. Una vez dentro se busca el componente que se quiere comprobar. Si se quiere una resistencia se seguirán estos pasos. Se clickea en “+”, luego se selecciona el componente que se quiere comprobar, por ejemplo, si se quiere comprobar una resistencia se clickea en “r” y a continuación se busca el footprint de la resistencia que se quiere comprobar. Después, es recomendable duplicar este componente con otro nombre para no modificar la librería. Se puede observar todos los pasos en la figura 31.



Figura 31. Stamp List

El siguiente paso es configurar bloque a bloque del stamp. Esta parte es la más tediosa y compleja ya que se requiere de mucho tiempo y es muy práctico, es decir, los parámetros se establecen a base de prueba y error.

El primer bloque que se tiene que configurar es el body. Este bloque es el que se encarga de comprobar el tamaño del componente y su forma. Este bloque es importante ya que se asegura de que el componente encaja en el pad. Puede ser que el operario se haya equivocado a la hora de instalar los reels en los feeders y los haya intercambiado, por lo esto se detectará en la revisión del body. Para configurarlo solo hay que ponerlo encima del componente y arrastrar con el ratón y modificar su tamaño. Automáticamente la máquina realizará dos fotos del componente y las guardará en su base de datos. Para luego comprobarlo. Una foto estará del derecho y otra del revés ya que no tiene polaridad. Sin embargo, si se quiere instalar un componente con polaridad solo se tendría que eliminar la foto que toma la máquina al revés.

FIGURA 32 BODY

El segundo bloque que se tiene que calibrar es el encargado de comprobar el código o el color. El funcionamiento es muy parecido al del body, ya que este es un cuadrado situado en mitad del componente que realiza dos fotos, igual que el bloque descrito anteriormente. Este detecta si es código, un texto, o si no hay nada, por lo que guarda el color. Cuando revisa el color, este lo hace con unas tolerancias que se pueden aumentar o disminuir para ser más exhaustivos. Aunque no es aconsejable ser muy exhaustivos en este punto, ya que, si se obtienen componentes de diferentes casas, lo más probable es que varíe la tonalidad del componente.

Figura 33. COLORES TONALIDAD

El último bloque se que debe de configurar es el que comprueba la soldadura, este es el más importante ya que tiene que detectar si el componente ha soldado correctamente. A simple vista puede ser que em componente parezca que se haya soldado bien, pero puede que no sea real, puede ser que se hayan quedado burbujas de aire dentro de la soldadura, que a simple vista es imposible o muy difícil de detectar, y la máquina es capaz de detectarlo en milésimas de segundo. La configuración es complicada, ya que se basa en prueba y error, es muy práctico. Pero se ha agilizado la configuración partiendo de unos parámetros ya establecidos de serie en la librería, y creando lo que se llama una “Golden Sample”. La Golden Sample, es una placa que tiene cero errores y se ha modificado manualmente por un experto en calidad, para generar los posibles errores descritos por la IPC-A-610, Acceptability of Electronic Assemblies. Una vez creada esta muestra, se configuran las tolerancias para que las piezas malas se detecten como defectuosas, esto se hace modificando el porcentaje de admisión en el histograma. Véase en la figura 34.

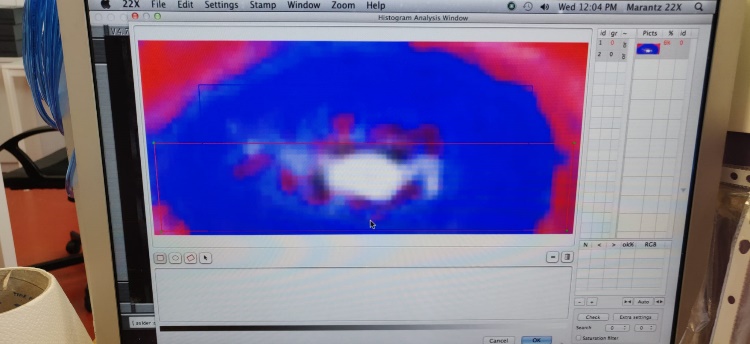
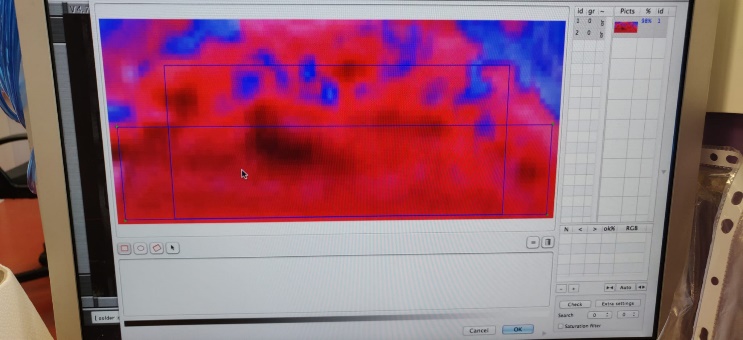


Figura 34a. Soldadura válida Figura 34b. Soldadura no válida

Como se puede apreciar en la figura 34b, el color rojo es inexistente por lo que la soldadura es pobre, no esta bien soldado y puede ser que el componente ni este pegado en la placa, ya que el color azul indica que la soldadura a penas tiene menisco. En cambio, en la figura 34a, se puede observar todo lo contrario, puede verse que en el recuadro que revisa, esta casi rellenado del color rojo, por lo que si existe y se aprecia un menisco. Puede ver como lo vería la máquina a la hora de checkear la PCB, en la figura 35.

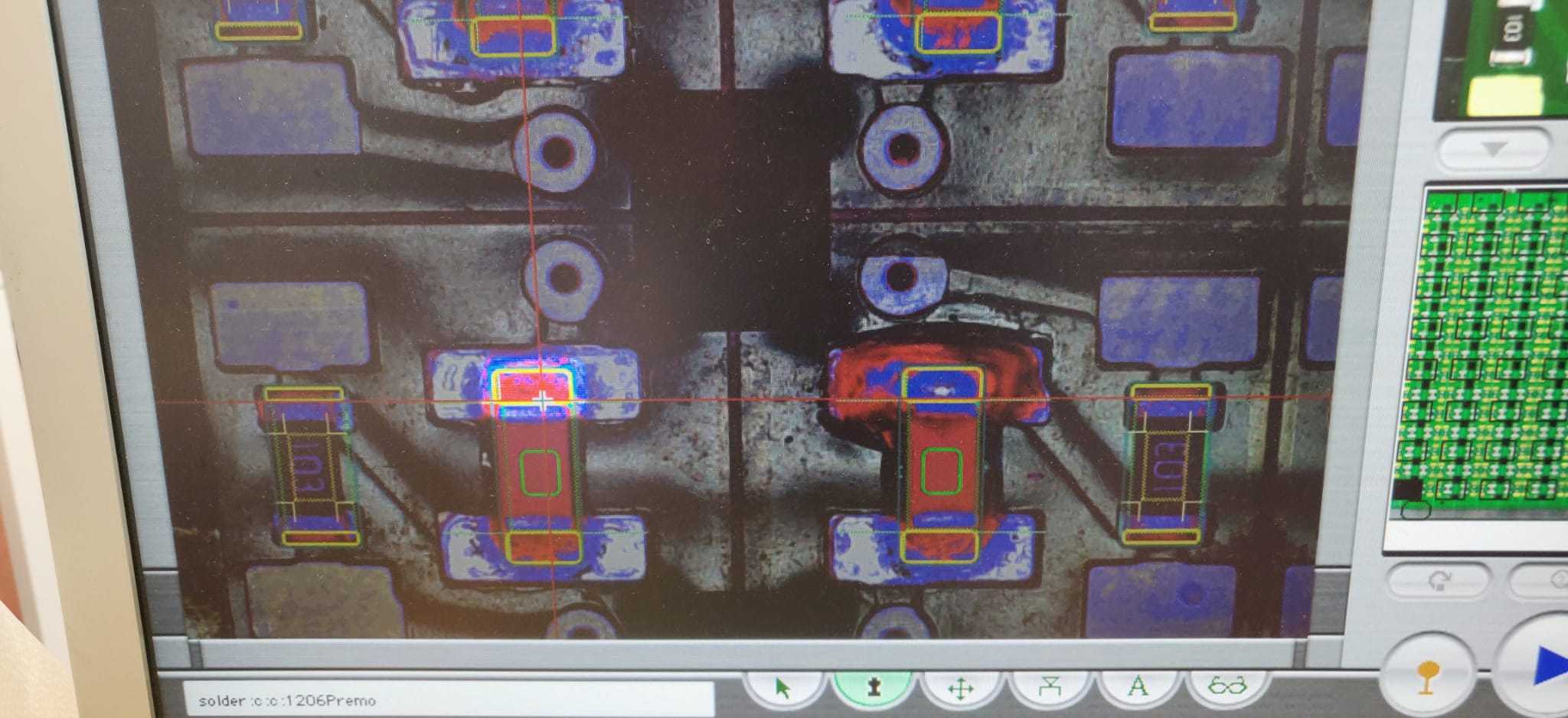


Figura 35. Histograma Completo

Una vez terminada la tarea de ajustar las tolerancias y los porcentajes de colores, ya se ha terminado la tarea de programación de esta máquina.

# Capítulo 4. Puesta en Marcha

## Puesta en Marcha

En este capítulo se explicará los documentos y pasos a seguir para poder empezar con la producción. Una vez terminados los ajustes de programación y se hayan realizado pruebas, se hayan hecho ya PCB, y se pueda observar buenos resultados, se puede empezar con la producción. Pero antes de empezar la producción se necesitan crear documentos para la validación de la línea.

Se hablará de como se ha creado el documento de la Golden Sample. A continuación, se hablará de las instrucciones de trabajo, llamado Working Instruction. También, se tiene que redactar un documento que hable sobre las cosas que hay que checkear antes de cada turno, esto se comprueba en la Start Up Check List. A esto le sigue un documento llamado Flow Chart, este documento recoge el fujo que debe de seguir la producción. Otro documento necesario para la validación es el "Process Failure Mode an Effect Analysis" (conocido por su acrónimo PFMA)**[2]**, en este documento se reúnen todos los fallos y soluciones que pueden surgir a la hora de la producción.

Los últimos dos documentos son el Control Plan que es un registro que tiene que hacer el operario de fallos o problemas que ha tenido el a la hora de producir. Y por último, el documento general de validación, donde se recogen especificaciones necesarias de la línea para la validación de esta.

### Golden Sample

La Golden Sample es un documento que especifica los errores que se van a detectar por la AOI. En realidad, la Golden Sample es una muestra de producción que cumple con las expectativas, por lo que en el caso de la empresa Premo. La Golden Sample se crea para cumplir con las expectativas de la AOI, y saber que podrá detectar todos los fallos que indica la normativa IPC-A-610, Acceptability of Electronic Assemblies. Esto asegura la calidad de inspección y también asegura la detección de todos los fallos que pueda tener una PCB en la producción. (*3 Reasons Why You Need a Golden Sample | SEACOMP*, s. f.)

Tras hacer esta Golden Sample, puede ver esta PCB en la figura 36, se redacta un informe explicando donde se encuentra cada fallo, a través de unas coordenadas en XY. En el informe se puede encontrar diferentes fallos y justo al lado se muestra la información del componente, si es resistencia o condensador y sus respectivas coordenadas. Estas coordenadas vienen descritas en unidades. Es decir, no se muestran en centímetros o milímetros, sino en el número de PCB. Puede ver este documento en el Anexo I.

### Working Instruction

La working Instruction o en español Instrucciones de Trabajo, es un documento necesario para la validación de la línea. Ya que, este documento explica los pasos a seguir por el operario para trabajar con las máquinas. En este documento no se habla de programación ni de calibración, solo de los pasos que debe de seguir para fabricar una PCB.

Este documento, puede sufrir cambios si se modifican parámetros o programas dentro de la línea, por lo que pueden surgir varias ediciones. Se va a mostrar la primera edición, que se puede comprobar en el Anexo II.

Se puede observar en el documento, que las instrucciones vienen en pasos muy detallados y con imágenes ilustrativas, por lo que lo hace fácil de entender. Esto es lo que se busca principalmente, unas instrucciones fáciles de entender y que expliquen los pasos a seguir de forma detallada, para que el operario pueda comprobarla y consultarla sin tener ninguna duda o problemas.

### Star Up Check List

Este documento, es parecido a las instrucciones de trabajo, explicadas en el apartado 4.2. Este documento muestra las cosas que tienen que comprobar el operario antes de empezar el turno, producción.

En este documento se encuentran detallados los pasos previos, y las comprobaciones necesarias antes de iniciar la producción. Se busca que el documento sea fácil de entender, y que sea ilustrativo con imágenes.

En este documento se especifican parámetros como la distancia que tiene que a ver entre railes de la Pick and Place. Otro ejemplo, comprobar que el stencil sea el correcto y este bien calibrado, ya que hay varias PCB en producción y tienen distintos stencils. Hay más comprobaciones específicas de cada máquina que se deben de hacer antes de iniciar la producción, puede comprobar el documento en el Anexo III.

### Flow Chart

Este documento conocido en español como diagrama de flujo, recoge el flujo que debe de seguir la producción desde que entra la materia prima en el almacén hasta que se envía la PCB ya montada.

Este documento también es conocido como process flowchart o process flow diagram. En este documento se exponen los pasos a seguir para la fabricación de una PCB, de una forma general, es decir, no entra en detalle como en el documento 4.2. Working instruction.

Este documento tiene la intención de enseñar como se realiza el proceso de fabricación de una PCB, de cara a la validación de la línea, de una auditoría. Otra función que desempeña es el estudio de mejoras en el proceso, ya que el Flow chart recoge las partes del proceso, pudiéndose ver partes del proceso que podrían mejorar. Véase el documento en el Anexo IV.

En resumen, este documento es necesario para documentar el proceso de fabricación y los pasos que sigue, desde que llega la materia prima hasta que se exporta. (*What is a Flowchart? Process Flow Diagrams & Maps | ASQ*, s. f.)

### PFMA

Conocido de sus siglas en inglés como Process Failure Mode Effects Analysis. Es un documento muy importante, es una herramienta que se encarga de analizar el proceso, estable el impacto que podría tener un fallo a la hora de la producción, estableciendo parámetros como la severidad, la ocurrencia y la detección. Una vez establecidos esos parámetros se obtendrá lo que se conoce como Risk Priority Number, conocido por su acrónimo RPN. Tras este análisis se estudian las soluciones que tendrían estos errores, antes de empezar la producción.

Su principal función es analizar el problema y ponerle una solución antes de que pueda ocurrir, por este motivo es tan importante. A continuación, se explicará que significa cada parámetro:

1. Severidad o Severity en inglés. Evalúa del 1 al 10, el impacto que tendría el fallo en el resultado. Siendo 1 el menor impacto y 10 el más afectaría. En general si tienen una puntuación mayor de 8, se requiere un análisis del problema más exhaustivo.
2. Ocurrencia o Occurrence en inglés. Analiza la posibilidad de que ocurra un fallo. Se mide el 1 al 10, siendo 1 el que tiene una ocurrencia más baja y 10 la más alta.
3. Detección o Detection en inglés. Evalúa la posibilidad que tiene un fallo de ser detectado. Siendo 1 el que es más probable de detectar y 10 el más difícil de detectar.
4. RPN. Es el resultado de multiplicar los parámetros descritos en este apartado. Severidad x Ocurrencia x Detección. Si el valor es superior a 80 se requiere buscar una solución a ese problema hasta que se reduzca el RPN.

(*A guide to Process Failure Mode Effects Analysis (PFMEA) | Process Excellence Network*, s. f.)

### Control Plan

Conocido en español como control de seguimiento. Este documento es un registro que se va rellenando sobre los fallos en la producción y luego se guardara para estudiar una mejora y para llevar un control de la línea.

Se pueden encontrar datos de producción por el ejemplo en número de piezas que se producen, cuantas de estas han salido defectuosas. Este documento es confidencial, pero es importante mencionarlo, ya que tiene una función importante a la hora de ir mejorando con el tiempo las máquinas o procesos para la producción.

### Documento de validación

Este documento tiene la función de mostrar que la línea es apta para la producción, en ella se muestra las especificaciones de las maquinarias. Se especifica el proceso de forma resumida y su validación.

Una vez especificada se hace unas pruebas a unas PCBs, se han cogido 50 PCBs de distintos paneles y de zonas distintas para comprobar la calidad de estas. Se realiza una inspección visual y luego otra eléctrico.

Una vez terminado los tests, se concluye que la línea es válida para la producción.

# Capítulo 5. Conclusiones

## 5.1. Conclusiones sobre la evaluación económica

Tras realizar un análisis del mercado, se puede concluir que el precio acordado es bastante bueno, ya que comprar la maquinaria nueva hubiera costado casi el doble. Además, se nos ofreció un training donde se explicaba el funcionamiento y la forma de programar cada máquina. Estos cursos no son baratos, ya que se tuvo que pedir un curso sobre la AOI, este curso fue ofrecido por la empresa AB Electronics y tuvo un costo de 6.000€, el curso duro dos días.

Por lo que se puede concluir, que el precio por el que se ha comprado la línea está bastante bien comparado con el mercado, hay que admitir que la empresa Grupo Premo, ya ha realizado varias compras de maquinarias a este proveedor y se ha podido negociar bastante el precio.

## 5.2. Conclusiones sobre la programación

La programación de las máquinas no ha sido complicada, pero si ha sido tediosa. La programación de la Printer y del horno de reflow, ha sido muy sencilla, solo escribir 3 parámetros y listo. En cambio, la de la AOI y la Pick and Place si que ha sido bastante tediosa.

La Pick and Place fue la que más trabajo dio, ya que las coordenadas de los gerbers y de la máquina son distintas por lo que se tuvo que hacer a mano. Al principio se puso componente a componente, hasta que aprendimos lo de hacer un panelado y esto facilito muchísimo la tarea. La configuración de los feeders no fue nada difícil, la altura posición, lo detecta solo la máquina y eso se hico realmente fácil.

Por último, la AOI, fue también un poco tedioso, porque no entendíamos nada de los menús y el manual que venía con la máquina no estaba muy bien redactado y no coincidía al 100% con las opciones de la máquina, pero tras recibir el curso impartido por AB Electronics, ya se hizo muy sencillo la tarea de programarla. Y ya se entendieron todos los conceptos que no se entendían en un principio, sobre todo el funcionamiento de la máquina y la posición de las luces.

Como conclusión final, puedo decir que la tarea de programación costo con el primer modelo de PCB, luego cuando se hicieron otros diseños, la programación fue realmente sencilla y rápida.

## 5.3. Conclusiones sobre la producción

En este punto hay que ser más críticos. A la hora de producción las máquinas rinden bien, son rápidas, pero realmente no son tan precisas como se esperaba.

A la hora de sacar PCBs, y de haber realizado cerca de 30.000 unidades hasta el día de hoy, puedo decir que la maquinaria está bien, pero se podría mejorar. Las máquinas han ido haciendo paneles de PCBs, cada panel tiene 330 PCBs y de media cada panel tenía una pieza defectuosa. Hay que admitir que este problema también es culpa del diseño de la PCB, que los pads no están bien ajustados a los componentes y a la hora de soldar se mueve un componente y no se llega a soldar al pad correctamente.

Aun así, la línea no está pensada para realizar una producción masiva en un principio sino en realizar pruebas y comprobar que es rentable realizar las “PCBs in house”. Por lo que puedo decir que la línea cumple con su tarea al 100%.

## 5.4. Conclusiones generales

Como conclusiones generales, he aprendido bastante sobre esta tecnología, y he realizado varios cursos informativos que me han preparado bastante. Me ha gustado realizar este trabajo porque es una línea real y funcional, por lo que he disfrutado con ello. Aunque a veces se ha hecho muy tedioso, la calibración y los retoques finales para que los paneles dieran el menor número de piezas defectuosas se hizo una terea muy larga, pero es lo que mencione antes, solo fue en el primer diseño. Luego fue más simple y sencillo ya que sabía que parámetros tenía que modificar y cuánto.

En general, la empresa ha obtenido una buena experiencia montando esta línea. Probablemente se monten más líneas en las diferentes fábricas de Premo, ya que se ha comprobado de que es realmente rentable, producir las PCBs “in house”.

# Capítulo 6. Bibliografía

*3 Reasons Why You Need a Golden Sample | SEACOMP*. (s. f.). Recuperado 30 de mayo de 2021, de https://www.seacomp.com/resources/why-you-need-a-golden-sample

*A guide to Process Failure Mode Effects Analysis (PFMEA) | Process Excellence Network*. (s. f.). Recuperado 30 de mayo de 2021, de https://www.processexcellencenetwork.com/lean-six-sigma-business-performance/articles/process-failure-mode-effects-analysis-pfmea

*AUTOTRONIK | BS281 | PICK & PLACE*. (s. f.). Recuperado 31 de mayo de 2021, de https://www.ab-electronic.com/p615/productos-autotronik-bs281-pick-place

*HFD-1068 semi-automatic high-precision solder paste printer*. (s. f.). Recuperado 31 de mayo de 2021, de https://smtnet.com/company/index.cfm?fuseaction=view\_company&company\_id=54555&component=catalog&catalog\_id=236522

*MD-330-430-630-Installation.pdf*. (s. f.). Recuperado 31 de mayo de 2021, de http://www.madelltech.com/MD-330-430-630-Installation.pdf

*Neoden 3V Advanced*. (s. f.). Recuperado 31 de mayo de 2021, de https://neodenusa.com/neoden-3v-pick-place-machine

*Neoden 4 Pick and Place Machine—NeodenUSA*. (s. f.). Recuperado 31 de mayo de 2021, de https://neodenusa.com/neoden4

*Neoden IN6 Reflow Oven—NeodenUSA*. (s. f.). Recuperado 31 de mayo de 2021, de https://neodenusa.com/smt-reflow-ovens/neoden-in6

*Sistemas AOI de revisión óptica durante la producción electrónica*. (s. f.). Recuperado 31 de mayo de 2021, de https://www.surtel.es/blog/sistemas-aoi-de-revision-optica/

*What is a Flowchart? Process Flow Diagrams & Maps | ASQ*. (s. f.). Recuperado 30 de mayo de 2021, de https://asq.org/quality-resources/flowchart

*Wholesale SMT AOI Online Machine supplier and manufacturer | Neoden*. (s. f.). Recuperado 31 de mayo de 2021, de https://www.smtneoden.com/smt-aoi-online-machine-product/

*YS350 Semi-Automatic Stencil Printer*. (s. f.). Recuperado 31 de mayo de 2021, de https://neodenusa.com/smt-stencil-printers/ys350