

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERO ELECTRÓNICO E INGENIERA ELECTRÓNICA**

**TEMA:
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO A LÁSER PARA EL
ETIQUETADO SOBRE CÁSCARAS DE FRUTOS DULCES**

**AUTORES:
RICHARD SANTIAGO CÉSPEDES NAVAS
ESTHER CAROLINA GASPAR GUANOLUISA**

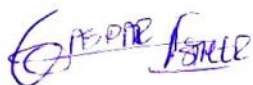
**TUTOR:
ANÍBAL ROBERTO PÉREZ CHECA**

Quito, septiembre del 2018

CESIÓN DE DERECHOS DE LOS AUTORES

Nosotros, Richard Santiago Céspedes Navas y Esther Carolina Gaspar Guanoluisa, con documentos de identificación N° 1722484878 y N° 0802872424 respectivamente, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO A LÁSER PARA EL ETIQUETADO SOBRE CÁSCARA DE FRUTAS DULCES”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero Electrónico e Ingeniera Electrónica en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Esther Carolina Gaspar Guanoluisa
C.I: 0802872424



Richard Santiago Céspedes Navas
C.I: 1722484878

Quito, septiembre del 2018.

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el proyecto técnico, “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO A LÁSER PARA EL ETIQUETADO SOBRE CÁSCARAS DE FRUTOS DULCES” realizado por Richard Santiago Céspedes Navas y Esther Carolina Gaspar Guanoluisa, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, septiembre del 2018.



Aníbal Roberto Pérez Checa

C.I: 1711423440

DEDICATORIA

En primer lugar, a Dios, por darme el don de la vida y la sabiduría para lograr llegar hasta este punto importante de mi vida profesional, por cada momento difícil que me ayudo a confrontar y a crecer como persona.

A mis abuelitos, José Manuel Guanoluisa Paniluisa y María Delia Proaño Cangui, por su ayuda incondicional como segundos padres en mi vida; por siempre estar a mi lado ayudándome a corregir cada error que he ido cometiendo.

A mi madre, Nancy Fabiola Guanoluisa Proaño, por ser madre y padre y darme el gran ejemplo de lucha constante, por ser mi guía en cada paso y decisión que he ido tomando en mi vida personal y profesional.

A mis hermanas, Kelly Nataly Gaspar Guanoluisa y Andrea Paola Gaspar Guanoluisa, por la ayuda y compañía en el largo camino de mi vida.

Esther Gaspar

A toda mi familia, en especial a mis padres Ángel Céspedes y Angélica Navas Rodríguez, por todo el apoyo incondicional que me han brindado en el transcurso de mi carrera profesional, por sus grandes consejos que me sirvieron para desasnar mis incontables dudas, las cuales las uso para ayudar y jamás vilipendiar a los demás. Por su ejemplo de lucha hasta conseguir lo que se anhela. ¡Gracias por toda su ayuda!

Richard Céspedes

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Politécnica Salesiana por darme la oportunidad de formar parte de esta digna institución, por las enseñanzas que los diferentes ingenieros impartieron en las aulas y los laboratorios, por ayudar a prepararnos como profesionales y personas.

Al Ingeniero Aníbal Roberto Pérez Checa, por su paciencia y dedicación como docente y tutor del presente proyecto de titulación, por ayudarnos a resolver diferentes inquietudes dentro de la Universidad.

Gracias.

ÍNDICE

CESIÓN DE DERECHOS DE LOS AUTORES	i
DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR.....	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE	v
RESUMEN.....	x
ABSTRACT.....	xi
INTRODUCCIÓN	xii
CAPÍTULO 1	1
ANTECEDENTES	1
1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.2. Justificación del proyecto.....	1
1.3. Objetivos	2
1.3.1. Objetivo General	2
1.3.2. Objetivos Específicos.....	2
CAPÍTULO 2	3
MARCO CONCEPTUAL	3
2.1. Etiquetado	3
2.1.1. Etiquetado a láser	3
2.2. Láser.....	3
2.2.2. Tipos de láser	5
2.3. Motor a pasos	7
2.3.1. Motor Paso a Paso Bipolar.....	7
2.4. Control numérico por computadora (CNC)	9
2.5. Drivers.....	10
CAPÍTULO 3	11
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN	11
3.1. Diseño del prototipo	11
3.1.1. Sistema tornillo - tuerca	14
3.1.2. Selección del Motor	16
3.2. Parte electrónica.....	22
3.2.1. Driver A4988	22

3.2.1. CNC Shield	24
3.2.3. Fuente de Alimentación	27
3.2.4. Esquema Electrónico.....	28
3.3. Software	30
3.3.1. Configuración del GRBL	30
3.3.2. Utilización del Inkscape.....	32
3.3.3. Utilización del CNC Control.....	36
CAPÍTULO 4.....	39
PRUEBAS Y RESULTADOS	39
4.1. Modificación de la estructura.....	39
4.2. Pruebas de etiquetado.....	41
CONCLUSIONES	50
RECOMENDACIONES	52
LISTA DE REFERENCIAS	53
ANEXOS	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Componentes de un láser	4
Figura 2.2. Láser con luz violeta a 500 mW	6
Figura 2.3. Relación pulsos- pasos en los motores a pasos.....	7
Figura 2.4. Bobinas motor PAP bipolar	8
Figura 2.5. Objeto físico sobre un CNC.....	10
Figura 3.1. Diseño del prototipo a láser	11
Figura 3.2. Montaje del sistema tornillo - tuerca	15
Figura 3.3: DCL para el eje X y Y	18
Figura 3.4: DCL para el eje Z	19
Figura 3.5. Motor NEMA 17.....	21
Figura 3.6. Driver A4988	22
Figura 3.7. Rs en el driver A4988	23
Figura 3.8. Ruteo de la placa CNC Shield	25
Figura 3.9. Diseño en 3D de la placa CNC Shield.....	26
Figura 3.10. PCB de la CNC Shield.....	26
Figura 3.11. Fuente Conmutada	28
Figura 3.12. Conexiones entre los elementos electrónicos	29
Figura 3.13. Parámetros configurados en “LaserGRBL”.....	32
Figura 3.14. Programa Inkscape.....	33
Figura 3.15. Selección “Importar”	33
Figura 3.16. Selección de “Aceptar”	33
Figura 3.17. Modificación de la imagen importada	34
Figura 3.18. Selección “Mapa de bit”	34
Figura 3.19. Imagen en mapa de bit.....	35
Figura 3.20. Generar GCODE.....	35
Figura 3.21. Comunicación Arduino - Software	36
Figura 3.22. Conexión Software - Hardware	36
Figura 3.23. Software “CNC Control”	37
Figura 3.24. GCODE a utilizar	37
Figura 3.25. GCODE de la imagen a utilizar	37
Figura 3.26. Modificación del PWM y velocidad del láser	38
Figura 3.27. Dar clic en “Iniciar” para el etiquetado a láser	38

Figura 4.1. Prototipo antiguo vs. Prototipo actual	39
Figura 4.2. Sujetador de frutas	41
Figura 4.3. Imagen utilizada en el etiquetado a láser	42
Figura 4.4. Etiquetado N° 1 de acuerdo a la Tabla 4.2	43
Figura 4.5. Etiquetado N°6 de acuerdo a la Tabla 4.2	43
Figura 4.6. Etiquetado N° 4 de acuerdo a la Tabla 4.3	44
Figura 4.7. Etiquetado N° 1 de acuerdo a la Tabla 4.2 después de una hora	45
Figura 4.8. Etiquetado N° 6 de acuerdo a la Tabla 4.2 después de una hora	45
Figura 4.9. Etiquetado N° 4 de acuerdo a la Tabla 4.3 después de una hora	45
Figura 4.10. Porcentaje de error total	48
Figura 4.11. Porcentajes de errores de acuerdo al error total	49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Tipos de láser	5
Tabla 2.2: Datos técnicos láser semiconductor pulsante.....	6
Tabla 2.3: Funcionamiento de un motor a pasos bipolar	9
Tabla 3.1: Elementos del prototipo a láser.....	12
Tabla 3.2: Descripción de las dimensiones del soporte de fruta	12
Tabla 3.3: Descripción de las dimensiones del soporte del eje X.....	13
Tabla 3.4: Descripción de las medidas del soporte vertical	13
Tabla 3.5: Descripción de las medidas del soporte horizontal.....	14
Tabla 3.6: Elementos mecánicos implementados en el prototipo a láser.....	15
Tabla 3.7: Elementos de la estructura con su respectiva masa	17
Tabla 3.8: Valores ejercidos en cada eje	21
Tabla 3.9: Especificaciones motor NEMA 17	22
Tabla 3.10: Valores de Voltaje de Referencia	23
Tabla 3.11: Versiones de placas CNC Shield	24
Tabla 3.12: Estudio de carga.....	27
Tabla 3.13: Especificaciones de la fuente de alimentación.....	28
Tabla 4.1: Elementos descartados para el prototipo a láser	40
Tabla 4.2: Primeros valores para el etiquetado sobre la cáscara de manzana verde ..	42
Tabla 4.3: Segundo datos para el etiquetado sobre la cáscara de manzana verde	44
Tabla 4.4: Porcentajes de errores obtenidos del error total.....	48

RESUMEN

En el presente proyecto se describe la elaboración de un prototipo a láser para el etiquetado sobre la cáscara de frutos dulces, este proceso permite reducir el uso de los adhesivos plásticos sobre los alimentos comestibles y obtener la información sobre la procedencia del producto por medio del Código PLU (Price Look-Up).

Para la fabricación del prototipo, fue necesario realizar los bosquejos previos en AutoCAD, lo cual ayudó a elegir el diseño más apropiado de la máquina para posteriormente construirlo en diferentes materiales que satisfagan y permitan realizar un etiquetado a láser.

A través del uso de *drivers* se realizó los movimientos con los que cuenta la máquina a láser. Así mismo, tomando como referencia el diseño de una CNC Shield V3 se realizaron modificaciones que permitieron que la placa cumpliera con las necesidades presentadas por el prototipo a láser implementando como son: paro de emergencia, seguridad para la parte física del prototipo, indicadores de encendido, control de la potencia del láser, cada uno de estos sistemas permiten que la estructura funcione de manera adecuada.

Para el etiquetado a láser sobre la cáscara de las frutas es necesario vectorizar la imagen a utilizar, esto se lo realiza por medio del software libre “Inkscape”. Para el movimiento de los motores se requiere el programa “CNC Control”, el mismo que interpreta los comandos establecidos en el software “LaserGRBL”. Mediante la realización de 180 pruebas, se logró establecer un 92.22% de efectividad del prototipo a láser.

ABSTRACT

In the present project the elaboration of a prototype to laser for the labeling on the shell of sweet fruits is described, this process allows: to reduce the use of the plastic adhesives on the edible foods and to obtain the information on the origin of the product by means of the PLU Code (Price Look-Up).

For the manufacture of the prototype, it was necessary to make previous drafts in AutoCAD, which helped to choose the most appropriate design of the machine to later build it in different materials that satisfy and allow to make a laser labeling.

Through the use of drivers, the movements of the laser machine were made. Also, taking as a reference the design of a CNC Shield V3, modifications were made that allowed the board to meet the needs presented by the laser prototype implementing such as: emergency stop, security for the physical part of the prototype, ignition indicators, laser power control, each of the systems allows the structure to function properly.

For laser labeling on the fruit skin it is necessary to vectorize the image to be used, this is done through the free software “Inkscape”. The “CNC Control” program, which interprets the commands established in the “LaserGRBL”, is required for the movement of the motors. By performing 180 tests, it was possible to establish a 92.22% effectiveness of the prototype laser.

INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente se ha realizado etiquetados con pegatinas plásticas, estas indican al consumidor varias características del producto: procedencia, marca, peso, precio, entre otras. Esta técnica no es 100% efectiva, debido a que no todas las frutas cuentan con este distintivo en los diferentes supermercados, lo que evita saber si el alimento es confiable para el consumo humano. Además, el plástico que se utiliza para las pegatinas es desechado, lo que representa un impacto al ambiente y pérdidas económicas innecesarias para las diferentes empresas que implementan este tipo de tecnología para marcar sus productos. Por estas razones se ha tomado como proyecto desarrollar un prototipo a láser para el etiquetado sobre la cáscara de frutos dulces. Para lograr el desarrollo del presente proyecto, fue necesario dividir al mismo en capítulos, los cuales se detallan de la siguiente manera:

En el capítulo 1 se establece: planteamiento, justificación y objetivos, tanto principal como específicos, los mismos que describen los motivos que impulsaron a la elaboración y desarrollo del proyecto.

En el capítulo 2 se detalla de forma general los conceptos que son necesarios tener en cuenta para el desarrollo del prototipo a láser para el etiquetado sobre la cáscara de frutos dulces.

El capítulo 3 describe la parte práctica de este proyecto: diseño, elaboración e implementación de la estructura mecánica y de las placas electrónicas necesarias para el funcionamiento del prototipo a láser. También se detalla lo relacionado con el software utilizado para el control y manejo de los motores y del láser.

En el capítulo 4 se describen los resultados obtenidos en prueba y error al poner en funcionamiento el prototipo a láser sobre las frutas, manzanas verdes.

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES

1.1. Planteamiento del problema

Al recorrer varios supermercados de Ecuador, en la ciudad de Quito específicamente, se puede notar la falta de etiquetas plásticas en los productos alimenticios, frutas y verduras, debido al desgaste del pegamento en este material. Esto produce que las personas no conozcan la procedencia del producto provocando que las mismas dejen de comprar el alimento.

Por lo mencionado se necesita implementar un prototipo a láser para el etiquetado sobre la cáscara de manzanas verdes para garantizar que este alimento sea seguro para el consumo humano por medio de la información que proporciona el distintivo grabado en dicho producto.

1.2. Justificación del proyecto

Al realizar el diseño e implementación de un prototipo a láser para el etiquetado sobre cáscaras de frutos permitirá que el consumidor conozca toda la información necesaria e importante sobre dicho producto: Código PLU (*Price Look-Up*) y de barra, así como también qué tipo de fruto es: orgánico, transgénico, etc. Sin olvidar la procedencia del mismo, es decir, qué empresa fue la encargada de su cultivo, distribución, entre otras.

Al grabar a láser la etiqueta sobre la cáscara del fruto la única forma de quitar dicho grabado es quitando el propio recubrimiento del producto, gracias a esto se logra evitar alteración en la información de la fruta.

Con esta nueva tecnología en el país se garantiza que todos los frutos, manzanas verdes, estarán adecuadamente etiquetadas según como lo menciona NTE INEN 1334-1, en donde se obliga a tener todos los productos de consumo humano correctamente diferenciados por medio de etiquetado.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Desarrollar un prototipo electrónico a láser para el etiquetado sobre la cáscara de manzanas verdes.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Seleccionar el tipo de láser adecuado para el etiquetado sobre la cáscara de manzanas verdes.
- Diseñar un sistema electrónico basado en láser con una tarjeta de control para el etiquetado sobre la cáscara de manzanas verdes.
- Implementar el sistema electrónico para el prototipo a láser diseñado.
- Verificar mediante pruebas el funcionamiento del prototipo a láser para el etiquetado sobre la cáscara de manzanas verdes.

CAPÍTULO 2

MARCO CONCEPTUAL

En este capítulo se detalla el proceso de etiquetado mediante el uso de tecnología láser, describiendo los diferentes tipos de láser que se emplean para el grabado de etiquetas sobre un producto. Así, también se detalla los motores y software que se emplean para la implementación del prototipo de máquina impresora láser sobre frutos dulces.

2.1. Etiquetado

Un instrumento necesario para proteger al consumidor es la inclusión de etiquetas sobre los productos alimenticios. Esto facilita al comprador obtener la información sobre las características de dichos productos: naturaleza, país de origen, fecha de vencimiento, calidad, entre otras, lo que permite al consumidor realizar su adquisición y consumo con conocimiento pleno del producto que adquiere. (María Begoña de Pablo, 2016)

2.1.1. Etiquetado a láser

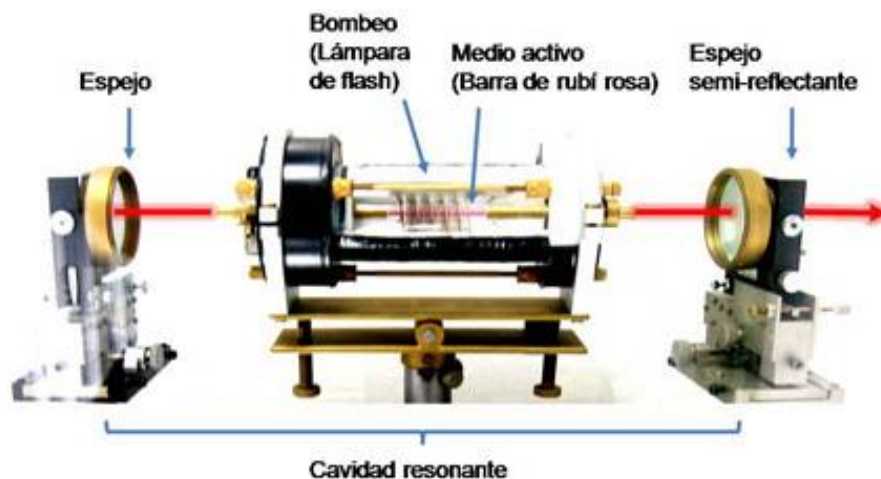
Es una técnica que consiste en utilizar un láser para tatuar una etiqueta distintiva sobre una minúscula área de pigmento de la superficie de la fruta. Esta técnica puede emplearse prácticamente sobre cualquier fruta o verdura fresca. Como no utiliza papel, plástico o cualquier otro material usado como en el etiquetado tradicional, el proceso con láser es capaz de reducir desperdicios innecesarios y hasta abaratar costes de los productos alimenticios como frutas o verduras. (FRESHPLAZA, 2015)

2.2. Láser

La palabra láser en español significa: “amplificación de luz por la emisión de radiación estimulada”, como su traducción lo indica. Es un dispositivo que estimula átomos o moléculas para emitir luz a longitudes de onda particulares y al mismo tiempo que amplifica esa luz, lo que provoca generalmente un haz de radiación muy estrecho. Esta emisión comúnmente envuelve un rango considerablemente limitado de longitudes de onda visibles, infrarrojas o ultravioletas. Para que el láser pueda cumplir con lo antes mencionado, este debe de constar con los siguientes componentes (ver Figura 2.1):

- **Medio láser activo y fuente externa de bombeo.** - Los grupos de átomos o moléculas pueden producirse en diferentes medios, ya sea en gas, líquido o sólido. Típicamente, el medio láser a gas está contenido en tubos cilíndricos y son excitados por una corriente eléctrica o fuente de luz externa, que se dice “bombea” el láser. De manera similar, el láser de estado sólido puede usar semiconductores o cristales transparentes con pequeñas concentraciones de átomos emisores de luz.
- **Resonador.** – Se necesita un resonador óptico para acumular la energía de la luz en el haz. Este se forma colocando un par de espejos, uno frente al otro para que la luz emita a lo largo de la línea entre los espejos se refleja hacia adelante y hacia atrás. Cuando se crea un grupo de moléculas o de átomos, también conocido como inversión de población, en el medio, la luz reflejada hacia adelante y hacia atrás aumenta en intensidad con cada paso a través del medio láser. En una cavidad láser real, uno o ambos espejos transmiten una fracción de la luz incidente. La fracción de la luz transmitida, es decir, el rayo láser, depende del tipo del láser. Si el láser genera un rayo continuo, la cantidad de luz añadida por la emisión estimulada en cada disparo de ida y vuelta entre los espejos es igual a la luz que emerge en el rayo más las pérdidas dentro del resonador óptico.

Figura 2.1. Componentes de un láser



Componentes primordiales que constan en la estructura física de un láser. Fuente: (Centro de Láseres Pulsados, 2013)

2.2.2. Tipos de láser

Cristales, lentes, semiconductores, gases, líquidos, haces de electrones de alta energía e incluso gelatina dopada con materiales adecuados pueden generar rayos láser. A continuación, en la Tabla 2.1 se indica los diferentes tipos de láser con sus respectivas características:

Tabla 2.1: Tipos de láser

Tipos de láser	Longitud de onda [μm]	Aplicaciones
Helio – Cadmio	0.325; 0.442 (ultravioleta; azul)	Mediciones de fluorescencia, masterización de CD y DVD
Argón Ion	0.275-0.303; 0.33-0.36; 0.45-0.53 (ultravioleta; azul-verde)	Instrumentos biomédicos, impresoras de alta velocidad
Semiconductor (nitruro de galio)	0.4-0.415 (violeta)	Reproductor de discos ópticos de próxima generación
Helio – Neón	0.543; 0.6328; 1.15 (verde; naranja)	Interferometría, holografía, medición de precisión
Semiconductor (galio-aluminio-indio-fósforo)	0.63-0.68 (rojo)	Reproductor de DVD, escáneres de código de barras, punteros láser
Rubí	0.694 (rojo)	Cirugía ocular, eliminación de tatuajes
Semiconductor (galio-aluminio-arsénico)	0.75-0.9 (infrarrojo cercano)	Reproductor de CD, comunicaciones de fibra óptica
Químico (oxígeno-yodo)	1.315 (infrarrojo cercano)	Armas aerotransportadas

Tipos de láser mayormente comercializados a nivel mundial con sus respectivas especificaciones.

Fuente: (Hecht, 2018)

Los láseres más utilizados en la actualidad son los de diodo semiconductor, que emiten luz visible o infrarroja cuando pasa una corriente eléctrica a través de ellos. La emisión

ocurre en la interfaz entre dos regiones dopadas con diferentes materiales. La unión p-n puede actuar como un medio láser, generando emisión estimulada y proporcionando acción láser si está dentro de una cavidad adecuada. Los láseres semiconductores emisores de borde convencionales tienen espejos en los bordes opuestos de la unión p-n, por lo que la luz oscila en el plano de unión. Los láseres emisores de superficie de cavidad vertical (VCSEL) tienen espejos por encima y por debajo de la unión p-n, por lo que la luz resuena perpendicularmente a la unión. La longitud de onda depende del compuesto semiconductor. (Hecht, 2018)

El tipo de láser óptimo para el etiquetado sobre las cáscaras de los diferentes frutos es el semiconductor pulsante con luz violeta (ver Figura 2.2). las especificaciones técnicas del producto se las puede observar en la Tabla 2.2 mostrada a continuación:

Tabla 2.2: Datos técnicos láser semiconductor pulsante

Dimensiones	65mm*33mm*33mm
Longitud de onda	450 nm
Potencia de salida	2.5 W
Método de enfriamiento	Disipador de calor de aluminio
Voltaje de funcionamiento	12 V
Corriente de trabajo	< 1 A
Temperatura de trabajo	-10 °C a 40 °C
Tipo de luz	Violeta

Características específicas del láser semiconductor pulsantes. Fuente: (AliExpress, 2016)

Figura 2.2. Láser con luz violeta a 500 mW

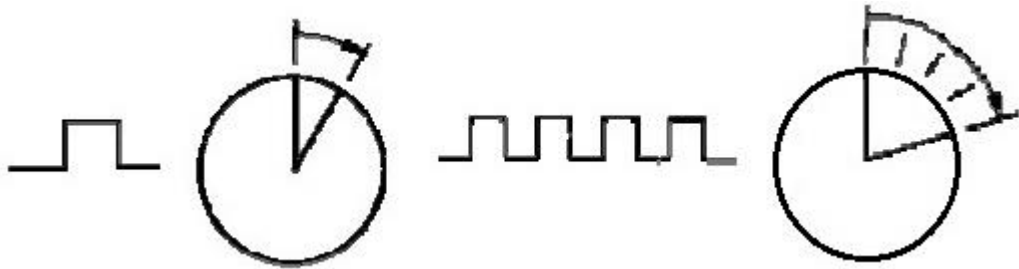


Láser semiconductor pulsante con luz violeta. Autores: Richard Céspedes y Esther Gaspar

2.3. Motor a pasos

Los motores paso a paso son aquellos que proporcionan movimientos exactos controlados mediante una secuencia de pulsos procedentes de un dispositivo que envía señales digitales, un pulso equivale a un paso, en la Figura 2.3 se observa dicha relación. (Platt, 2012)

Figura 2.3. Relación pulsos- pasos en los motores a pasos



El motor al recibir: una secuencia de pulsos da una secuencia de pasos, un paso da un pulso. Fuente: (Canto, 2018)

Los motores a pasos tienen como unidad de medida y parámetro esencial el grado, donde este último varía desde 0.72° a 22.5° por revolución. En la Ec. (2.1) se calcula el número de pasos por vuelta (NP) y se indica que para un motor con ángulo de 0.72° requiere de 500 pasos para girar una vuelta completa, es decir 360° .

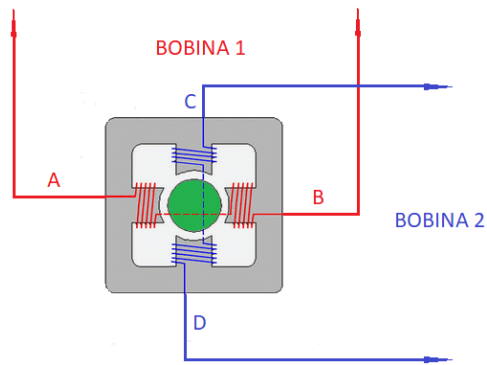
$$NP = \frac{360^\circ}{\alpha} = \frac{360^\circ}{0.72^\circ} = 500 \quad \text{Ec. (2.1)}$$

Donde α es el ángulo de paso.

2.3.1. Motor Paso a Paso Bipolar

En este grupo de motores las bobinas del estator se conectan formando dos grupos, así como se muestra en la Figura 2.4. En donde se observa que salen cuatro hilos, los mismos que pueden ser conectados a un puente H o a un driver, estos últimos permiten variar la polaridad de la alimentación de las bobinas o fases. Con la activación y desactivación adecuada de los dispositivos de control y potencia, se logra proporcionar una secuencia para que el motor gire en un sentido horario o anti horario.

Figura 2.4. Bobinas motor PAP bipolar



Motor paso a paso bipolar con dos bobinas o fases. Autores: Richard Céspedes y Esther Gaspar

Para el funcionamiento de los motores a pasos bipolares se necesita la inversión de la corriente que circula en sus bobinas en una sucesión determinada, ya sea horaria o anti-horaria. Estos tipos de motores requieren de una secuencia de pasos (4 en total) para realizar un giro completo en su eje, es decir 360° . A continuación, se detalla lo que sucede en las bobinas del motor bipolar al recibir una serie de pulsos (cada pulso representa un paso): (Jesús, 2014)

- **Paso 1:** Al energizar a las bobinas del motor (terminales A y C), estas se activan provocando un paso de giro en el eje del motor.
- **Paso 2:** Al terminar de realizar el primer movimiento rotacional el rotor se encuentra en la siguiente posición de avance, en donde se energizan a los terminales A y D, ocasionando un segundo paso de giro.
- **Paso 3:** Para que el motor llegue a la siguiente posición de avance se energizan los terminales B y D, así se provoca el tercer paso de giro.
- **Paso 4:** Como última secuencia para realizar el giro completo del eje del motor se debe energizar los terminales B y D.

Todo lo explicado en los pasos del 1 al 4 se puede apreciar de mejor manera en la Tabla 2.3, donde un “1” es activación y un “0” es desactivación.

Tabla 2.3: Funcionamiento de un motor a pasos bipolar

Pasos	Terminales				Gráficos
	A	B	C	D	
1	1	0	1	0	
2	1	0	0	1	
3	0	1	0	1	
4	0	1	1	0	

Activación de las bobinas de un motor bipolar de manera secuencial en sentido anti-horario. Autores: Richard Céspedes y Esther Gaspar.

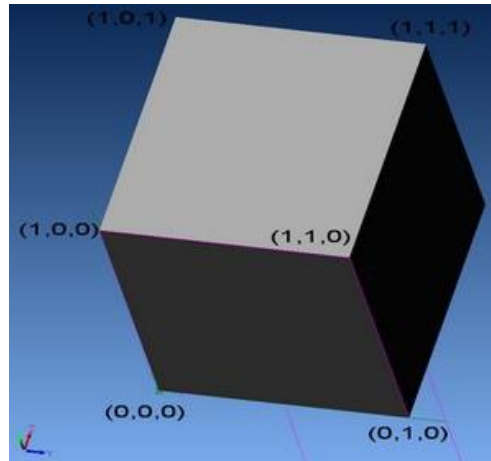
2.4. Control numérico por computadora (CNC)

Control Numérico por Computadora o CNC, permite como su nombre lo indica controlar en todo momento la posición de un elemento físico que se encuentra montado en una máquina. En otras palabras, mediante un software y varias líneas de programación, se controla las coordenadas de posición de un punto respecto a un origen (0,0,0). En la Figura 2.5 se observa como el control numérico posiciona los diferentes vértices de una figura dada: (0,0,0); (1,0,0); (1,1,0); (1,1,1); (0,1,0); (0,0,1), gracias a esto la computadora puede interpretar físicamente la posición de dicha figura permitiendo realizar cualquier movimiento u operación sobre la misma. (COSMOCA, 2007)

Para que una CNC pueda controlar variables como: los movimientos de una pieza, la manera de desplazarse las coordenadas, la velocidad, maquinado, etc., es necesario que el controlador cuente con una lista de instrucciones de movimiento denominado GCODE. Es un lenguaje de descripción de operaciones para máquinas de control numérico por ordenador (CNC). El GCODE describe el movimiento y las diferentes

operaciones que la máquina CNC debe realizar para la elaboración de un objeto. (Ventura, 2014)

Figura 2.5. Objeto físico sobre un CNC



Cubo con coordenadas en el plano XYZ para la aplicación por comandos de un CNC. Fuente: (COSMOCA, 2007)

2.5. Drivers

Los controladores o *drivers* son dispositivos electrónicos que permiten, como su nombre lo indica, controlar las tensiones y corrientes que son suministradas a diferentes tipos de cargas, como: capacitivas, inductivas o resistivas, teniendo como voltaje de control 5Vcc. Existen dos tipos de drivers:

- **Controladores de voltaje constante:** Están diseñados para una sola tensión de salida de corriente continua (CC), por lo general de 12Vcc o 24Vcc, es decir, el controlador mantendrá un voltaje constante sin importar la corriente de carga.
- **Controladores de corriente constante:** Estos tipos de *drivers* están diseñados para una gama de voltajes de salida y una intensidad de salida fija (amperios). Este tipo de controlador varía el voltaje a lo largo de un circuito electrónico que permite una corriente eléctrica constante a través del dispositivo. (Cruz, 2016)

CAPÍTULO 3

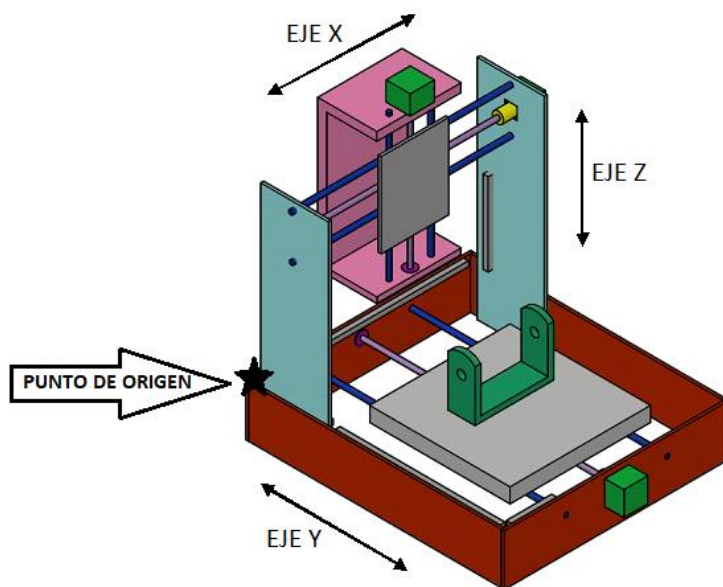
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

En esta sección se redacta cada uno de los pasos para el diseño del prototipo a láser para el etiquetado sobre las cáscaras de frutos dulces: diseño de la estructura a utilizar, implementación de la electrónica para el movimiento de los motores, así como también la programación para el uso del láser sobre la cáscara de manzanas verdes.

3.1. Diseño del prototipo

Se establece un diseño que sea apropiado para el etiquetado sobre la cáscara de frutos dulces, es decir, una estructura que permita imprimir por medio de láser sobre superficies curvas, debido que la mayoría de frutas tienen forma ovalada. Con este antecedente se optó por un diseño que permite el desplazamiento en el plano XYZ, tal como se observa el modelo en el Figura 3.1 donde se puede apreciar los diferentes ejes de movimiento y su punto de origen señalado por una estrella.

Figura 3.1. Diseño del prototipo a láser



Estructura del prototipo a láser diseño en AutoCAD. Autores: Richard Céspedes, Esther Gaspar

El diseño de la Figura 3.1 fue realizado por medio de capas, una herramienta del programa AutoCAD que ayuda a distinguir los diferentes fragmentos y elementos que forman parte de la máquina impresora a láser, en la Tabla 3.1 se detalla cada fragmento que constituyen el prototipo a láser.

Tabla 3.1: Elementos del prototipo a láser

Color	Parte
Verde	Motores NEMA 17
Amarillo	Acoples flexibles
Morado	Tornillo sin fin 4 hilos
Lila	Soporte del eje X
Azul	Ejes fijos
Celeste	Soportes verticales
Café	Soporte horizontal
Gris	Base horizontal
Plomo	Soporte del láser
Turquesa	Soporte de fruta

Partes que conforman la máquina a láser para el etiquetado sobre la cáscara de frutos dulces. Autores:
Richard Céspedes y Esther Gaspar

Las especificaciones de las diferentes medidas del soporte de fruta son detalladas en la Tabla 3.2. En el Anexo 1 se puede observar el acabo final realizado en AutoCAD de dicho sujetador de fruta.

Tabla 3.2: Descripción de las dimensiones del soporte de fruta

Dimensiones (mm)	Descripción
Diámetro=15	Permite ajustar de manera manual los tornillos plásticos que sujetan a la fruta, manzana verde.
Alto=90 Ancho=140	Con estas dimensiones se logra sostener con estabilidad a la manzana a una altura de 30mm. Es decir, evita vibraciones en la fruta al momento de realizarle el etiquetado sobre la cascara.

Justificación de las diferentes medidas tomadas para la elaboración del sujetador de fruta. Autores:
Richard Céspedes y Esther Gaspar.

En el Anexo 2 se puede apreciar de manera gráfica las diferentes dimensiones del soporte del eje X, mientras que en la Tabla 3.3 se detalla las especificaciones de las medidas en dicho soporte de la estructura.

Tabla 3.3: Descripción de las dimensiones del soporte del eje X

Dimensiones (mm)	Descripción
Alto=264 Ancho=150 Largo=105	Es hecho en MDF (tablero de fibra de densidad media), lo cual proporciona ser ligero para el movimiento horizontal. Las medidas permiten que la pieza tenga un recorrido total de 260mm en el eje horizontal.
Diámetro=8	Permite la incrustación de los ejes acerados y del tornillo sin fin, de tal manera que los mismo queden ajustados al soporte.
Diámetro=22	Se incrusta un acople flexible, el mismo que permite la unión entre el eje del motor y el tornillo sin fin de 4 hilos.

Especificaciones de las diferentes medidas utilizadas para la realización del soporte del eje X.

Autores: Richard Céspedes y Esther Gaspar.

Las especificaciones de las medidas implementadas en el soporte vertical del prototipo a láser se las detalla en la Tabla 3.4. Así mismo, en el Anexo 3 se puede apreciar de manera gráfica dichas dimensiones.

Tabla 3.4: Descripción de las medidas del soporte vertical

Dimensiones (mm)	Descripción
Alto=420 Ancho=120	Se elaboran dos piezas iguales en hierro, con un grosor de 5mm. Esto permite tener un soporte estable y resistente para evitar vibraciones en el prototipo a láser al momento de realizar los etiquetados sobre la cascara de las frutas.
Diámetro=8	Permite incrustar dos ejes acerados y un tornillo sin fin de 4 hilos. Ambos elementos permiten sujetar y deslizar el soporte del eje X.
Diámetro=22	Se ubica un acople flexible que permite la unión entre el eje del motor y el tornillo sin fin.

Descripción de cada dimensión implementada para la elaboración de los soportes verticales. Autores:

Richard Céspedes y Esther Gaspar.

En el Anexo 4 se puede ver el dibujo final con dimensiones realizado en AutoCAD del soporte horizontal que forma parte del prototipo a láser. A su vez, en la Tabla 3.5 es posible apreciar las especificaciones detalladas sobre las diferentes medidas con las que cuenta el soporte horizontal de la estructura.

Tabla 3.5: Descripción de las medidas del soporte horizontal

Dimensiones (mm)	Descripción
Alto=90 Ancho=400 Largo=460	El soporte horizontal es elaborado en hierro, lo cual evita vibraciones en el prototipo a láser al momento de utilizar los motores. A su vez, proporciona estabilidad a toda la estructura.
Diámetro=8	Se colocan dos ejes acerados separados 180mm y un tornillo sin fin en el centro del soporte, los mismo que ayudan al movimiento del soporte del eje Y.
Diámetro=22	Permite la incrustación de un acople flexible, el mismo que facilita la unión entre el eje del motor con el tornillo sin fin de 4 hilos.

Medidas en milímetros del soporte horizontal realizado con acero para la máquina a láser. Autores:

Richard Céspedes y Esther Gaspar

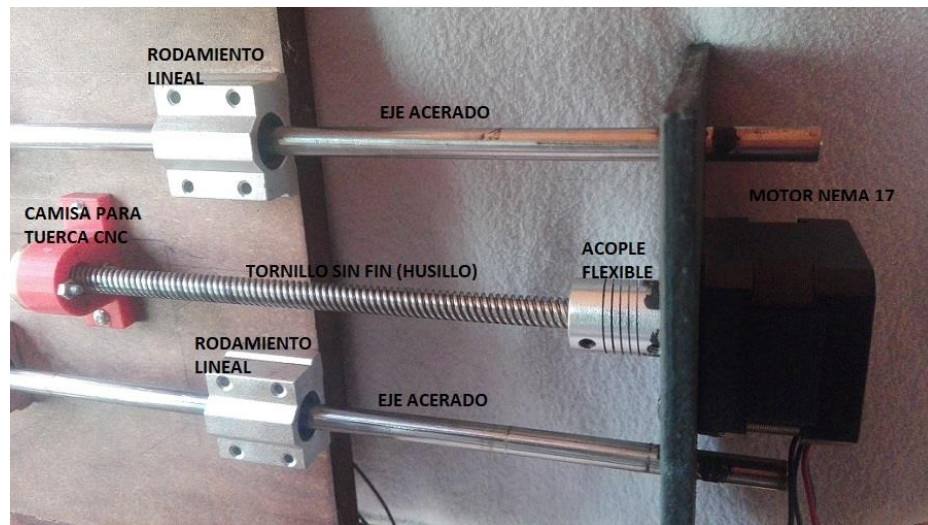
3.1.1. Sistema tornillo - tuerca

Este tipo de mecanismo está constituido por un tornillo, llamado también husillo, y una tuerca. Al estar uno de los dos elementos fijos, es decir sin movimiento longitudinal, se consigue que el sistema convierta el movimiento circular en movimiento lineal continuo. (Vizcaino, 2015)

Este sistema es el que se utiliza para el desplazamiento en los ejes XYZ, debido a que proporciona transmisión con ajuste y precisión con lo que se consigue grandes reducciones de velocidad y esto hace posible controlar de mejor manera el movimiento de los diferentes ejes.

La implementación de dicho mecanismo se lo aprecia en la Figura 3.2, donde se indica la ubicación final de los elementos mecánicos utilizados para el prototipo a láser.

Figura 3.2. Montaje del sistema tornillo - tuerca



Descripción de la ubicación del sistema mecánico en la máquina a láser. Autores: Richard Céspedes y Esther Gaspar

Cada uno de los elementos mostrados en la Figura 3.2 fueron seleccionados por razones específicas, las mismas que se indican en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6: Elementos mecánicos implementados en el prototipo a láser

Elemento	Descripción
Eje acerado	Con un diámetro de 8mm, son fuertes debido a que se requiere de precisión.
Rodamiento lineal	Para eje de 8mm. Por dentro consta de 4 hileras de bolas o rodalines que permiten realizar el desplazamiento en los diferentes ejes.
Husillo	Tornillo sin fin de 4 hilos con un diámetro 8mm.
Acople flexible	Se utilizan para evitar problemas de acoples. Tiene dos diámetros: 5mm para conectar al eje del motor y 8mm para adaptar el tornillo sin fin.

Características específicas de cada elemento utilizado en la parte mecánica del prototipo a láser.

Autores: Richard Céspedes y Esther Gaspar.

El avance o distancia generada por el mecanismo tornillo – tuerca al dar una vuelta, para este proyecto, se la expresa en la Ec. (3.15).

$$A = e * p \quad \text{Ec. (3.15)}$$

Donde: A: Es el avance generado al dar el tornillo una vuelta completa sobre la tuerca.

e: Es el número de entradas o hilos del husillo, 4 para este caso.

p: Es el paso o la distancia entre los hilos del tornillo, 2mm en este caso.

Utilizando la Ec. (3.15) y los valores descritos anteriormente, se obtiene que el avance generado por cada vuelta del husillo es de 8mm, descrito en la Ec. (3.16).

$$A = 4 * 2mm = 8mm \quad \text{Ec. (3.16)}$$

3.1.2. Selección del Motor

Para seleccionar los motores adecuados de acuerdo a las necesidades mecánicas que realicen los movimientos en los diferentes ejes de la estructura, se requiere conocer primero la masa (Kg) de los elementos que componen cada uno de los ejes (XYZ) del prototipo a láser, con estos valores y por medio de fórmulas se calcula el torque necesario que cada motor debe generar para lograr el movimiento de la estructura en los tres ejes: XYZ. Estos valores se los indica en la Tabla 3.7.

Cada eje le corresponde mover diferentes masas de acuerdo con los valores calculados y descritos en la Tabla 3.7, es así que para: el eje X le corresponde mover 2.103Kg, la masa a deslizar en el eje Y es de 0.587Kg y la masa que le corresponder mover al eje Z es 0.621Kg.

Con los resultados obtenidos se realizan los diagramas de cuerpo libre (DCL), teniendo en cuenta que para las ecuaciones de sumatorias en el eje X, Ec. (3.1), y en el eje Z, Ec. (3.6), se igualan a cero debido a que se quiere conocer el torque necesario para empezar el movimiento desde el reposo, para el caso es el mayor.

Tabla 3.7: Elementos de la estructura con su respectiva masa

CANTIDAD	ELEMENTOS	MASA (Kg)	
		INDIVIDUAL	GRUPAL
FRAGMENTOS EJE X			
8	Rodamientos lineales	0.052	0.416
2	Camisa para tuerca de CNC	0.01	0.02
2	Ejes acerados	0.116	0.232
1	Tornillo sin fin 4 hilos	0.124	0.124
1	Láser semiconductor pulsante	0.339	0.339
1	Motor paso a paso	0.28	0.28
2	Acoples CNC flexibles	0.075	0.15
1	Soporte en el eje X	0.478	0.478
1	Soporte del láser	0.064	0.064
FRAGMENTO EJE Y			
1	Base horizontal	0.369	0.369
4	Rodamientos lineales	0.052	0.208
1	Camisa para tuerca de CNC	0.01	0.01
FRAGMENTOS EJE Z			
1	Láser semiconductor pulsante	0.339	0.339
4	Rodamientos lineales	0.052	0.208
1	Soporte del láser	0.064	0.064
1	Camisa para tuerca de CNC	0.01	0.01

Masas de los materiales obtenidas al pesarlos en una balanza digital. Autores: Richard Céspedes y Esther Gaspar

En la Figura 3.3 se aprecia el DCL para los ejes X y Y, se toma ambos planos debido a que el movimiento es en línea horizontal, con el cambio en el valor de la masa a mover. Para el diagrama de cuerpo libre en el eje Y se puede apreciar la Figura 3.6.

Figura 3.3: DCL para el eje X y Y

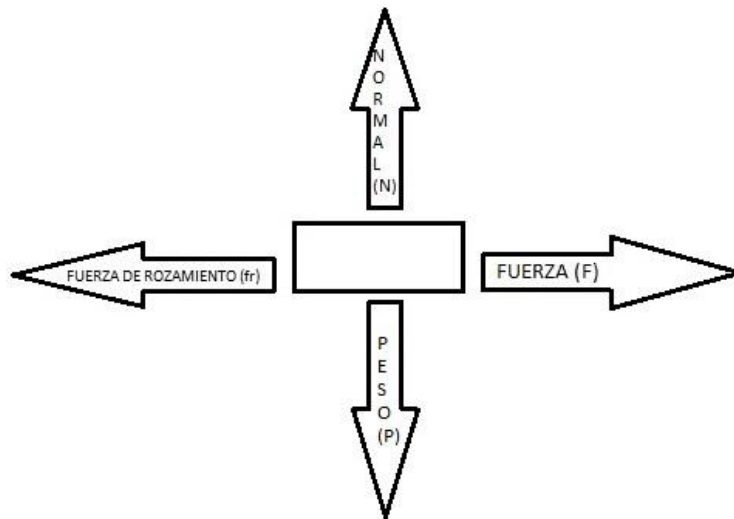


Diagrama descriptivo de las fuerzas que actúan sobre los ejes X y Y en el prototipo a láser. Autores: Richard Céspedes y Esther Gaspar

Analizando la Figura 3.3, se aprecia que existen dos variables para las fuerzas en X: Fuerza (F) que está a favor del movimiento y la fuerza de rozamiento (fr) que se opone al mismo. Reemplazando estas variables en la Ec. (3.1) y realizando varios cálculos, como se muestran en las Ec. (3.2) a la Ec. (3.4), se obtiene en la Ec. (3.5) la expresión final para el análisis en este eje.

$$\sum F_x = 0 \quad \text{Ec. (3.1)}$$

$$F - fr = 0 \quad \text{Ec. (3.2)}$$

$$F = fr \quad \text{Ec. (3.3)}$$

$$fr = \mu * N \quad \text{Ec. (3.4)}$$

$$F = \mu * N \quad \text{Ec. (3.5)}$$

Donde μ es el coeficiente de rozamiento con valor constante de 0.001. (Bosch Rexroth AG, 2007)

Para el análisis de las fuerzas en Z, se observa en la Figura 3.3 que existen dos variables en dicho plano: Normal (N) y el Peso (P), al reemplazar estos datos en la Ec. (3.6) y a través de cálculos matemáticos descritos en la Ec. (3.7) y Ec. (3.8) se determina en la Ec. (3.9) la expresión final para el análisis en el este plano.

$$\sum F_z = 0 \quad \text{Ec. (3.6)}$$

$$N - P = 0 \quad \text{Ec. (3.7)}$$

$$N = P \quad \text{Ec. (3.8)}$$

$$N = m * g \quad \text{Ec. (3.9)}$$

Donde: m corresponde a la masa que cada eje moverá y la constante g es el valor de la gravedad (9.8m/s^2).

Figura 3.4: DCL para el eje Z

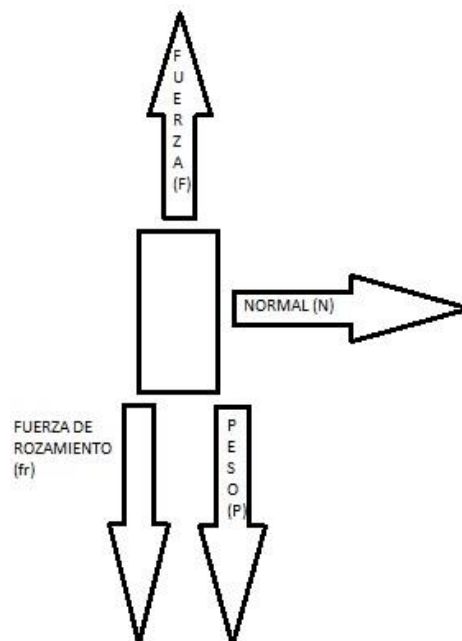


Diagrama descriptivo de las fuerzas que actúan en el eje Z del prototipo a láser. Autores: Richard Céspedes y Esther Gaspar.

Observando la Figura 3.4 se establece que existe una sola fuerza en el eje X, la misma que reemplazando en la Ec. (3.1) se obtiene que el valor de la Normal (N) para este caso es cero, ver Ec. (3.10).

$$N = 0 \quad \text{Ec. (3.10)}$$

Analizando la misma gráfica (Figura 3.4) se observa que existen tres fuerzas que actúan en el eje Z, las mismas que al ser reemplazadas en la Ec. (3.6) se obtiene la expresión mostrada en la Ec. (3.11).

$$F - P - fr = 0 \quad \text{Ec. (3.11)}$$

$$F = P + fr \quad \text{Ec. (3.12)}$$

Al saber que la Normal es igual a cero (ver Ec. 3.10), para este caso, reemplazando este valor en la Ec. (3.4) se deduce que la fr da como resultado cero. Por lo tanto, la Fuerza (F) es igual al Peso (P), donde este último se conoce que es igual a la masa (m) por la gravedad (g). Observar Ec. (3.13).

$$F = P = m * g \quad \text{Ec. (3.13)}$$

En la Tabla 3.8 se obtienen los valores de las variables: F y N para cada eje (XYZ) utilizando las Ec. (3.5), Ec. (3.9) y Ec. (3.13). Para obtener el valor del Torque (τ) se utiliza la Ec. (3.14).

$$\tau = F * d \quad \text{Ec. (3.14)}$$

Donde: d es la distancia medida en metros, para este proyecto en particular el valor es de 0.034m.

Tabla 3.8: Valores ejercidos en cada eje

EJE	MASA (Kg)	NORMAL (N)	FUERZA (N)	TORQUE (N*m)
X	2.103	20.609	0.021	$7.14 * 10^{-4}$
Y	0.587	5.753	$5.753 * 10^{-3}$	$1.956 * 10^{-4}$
Z	0.621	0	6.086	0.21

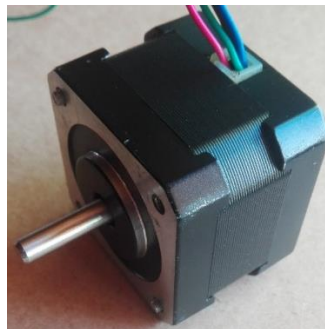
Datos específicos calculados para realizar el movimiento en los diferentes planos XYZ. Autores:

Richard Céspedes y Esther Gaspar

Conociendo el valor del torque que cada motor debe ejercer para mover las diferentes masas en los respectivos ejes, se procede a seleccionar uno o varios motores que cumplan con las especificaciones mostradas en la Tabla 3.8. Por este motivo se eligen los motores, paso a paso, NEMA (Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos), la cual es la encargada de realizar varios estándares industriales usados en el campo de la electricidad, específicamente encapsulados (Factor Eléctrico, 2014). Es así que existen los motores NEMA 17, 23, 34, donde el número indica el tamaño de la parte frontal del motor, donde se colocan los tornillos. Los motores a utilizarse son los NEMA 17.

Los motores de menor diámetro (NEMA 17, ver Figura 3.5) corresponde a un encapsulado de $43.18 * 10^{-3} \times 43.18 * 10^{-3} \text{m}^2$ de área transversal, son comúnmente utilizados en pequeñas aplicaciones y requieren de poca cantidad de voltaje (12 Vcc), además el torque suele llegar hasta 0.39N*m (ver Tabla 3.9). Cabe mencionar que los NEMA 17 al contar con 4 cables de entrada los hace pertenecer a los motores paso a paso bipolar. (Dédalo, 2010)

Figura 3.5. Motor NEMA 17



Motor paso a paso bipolar con encapsulado $43.18 * 10^{-3} \times 43.18 * 10^{-3} \text{m}^2$. Autores: Richard Céspedes y Esther Gaspar.

Se utilizan dos motores NEMA 17 con diferente amperaje, debido a que después de trabajar con un motor de 0.4 A para el eje Y, este no avanzaba a generar el tornillo suficiente para subir todo el peso en el movimiento vertical. Es así que se usa un NEMA 17 con una corriente de 1.2 A, el mismo que se describe en la Tabla 3.9.

Tabla 3.9: Especificaciones motor NEMA 17

Especificaciones Generales		Especificaciones Eléctricas	
Motor para el eje X y Y			
Ángulo de paso	1.8°	Voltaje Nominal	12 V
Número de fase	2	Corriente Nominal/ fase	0.4 A
Inercia del rotor	38 g * cm ²	Torque	0.255 N*m
Motor para el eje Z			
Ángulo de paso	1.8°	Voltaje Nominal	12 V
Número de fase	2	Corriente Nominal/ fase	1.2 A
Inercia del rotor	54 g * cm ²	Torque	0.44 N*m

Datos específicos sobre los motores NEMA17 utilizados en el prototipo a láser. Fuente: (Bang Good, 2017)

3.2. Parte electrónica

3.2.1. Driver A4988

Este elemento electrónico permite controlar: la secuencia de pulsos y dirección de giro de un motor a pasos. Proporciona hasta un máximo de 2A y 35Vcc en cada bobinado de los motores y requiere una tensión entre 3Vcc a 5Vcc de alimentación para trabajar de manera correcta. En la Figura 3.6 se observa el controlador mencionado.

Figura 3.6. Driver A4988



Controlador de corriente constante para motores a pasos. Autores: Richard Céspedes y Esther Gaspar.

El controlador A4988 cuenta con un potenciómetro en la parte inferior, tal como se muestra en la Figura 3.6. Este permite regular el voltaje de referencia (V_{ref}), con el que los motores a pasos deben operar y así no se produce calentamiento de los NEMA 17. Además, se trabaja en pasos completos (70% de la corriente) lo que evita la pérdida de fuerza y pasos en los motores. Ver Ec. (3.15).

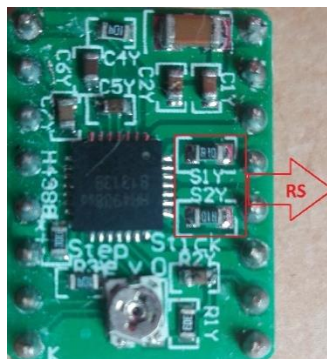
$$V_{ref} = I_{max} * (8 * R_s) * \frac{100}{70} \quad \text{Ec. (3.15)}$$

Donde: I_{max} es la corriente máxima con la que operan los motores a pasos.

R_s es la resistencia de sensibilidad (Ω).

Al reemplazar las variables en la Ec. (3.15) se obtiene los valores detallados en la Tabla 3.10. Para el valor de R_s , es necesario ver las resistencias que se encuentran ubicadas en la parte derecha del driver (ver Figura 3.7), para este caso es de 0.1Ω .

Figura 3.7. R_s en el driver A4988



Ubicación de R_s sobre el controlador A4988. Autores: Richard Céspedes y Esther Gaspar.

Tabla 3.10: Valores de Voltaje de Referencia

Motor NEMA 17	I_{max} (A)	V_{ref} (V)
Eje X y Z	0.4	0.224
Eje Y	1.2	0.672

Valores de voltaje y corriente para el funcionamiento de los motores a pasos. Autores: Richard Céspedes y Esther Gaspar.

3.2.1. CNC Shield

Es una placa que se apila sobre un controlador u otra tarjeta igual a ella, de esta manera permite ampliar las capacidades de hardware de Arduino. Para la alimentación de estas shields, comúnmente se lo hace a través del controlador apilable mediante los pines de 5Vcc y GND, razón por la cual cada shield debe tener la misma forma standard de Arduino al que se le va apilar, con un espacio de pines concreto para que solo haya una forma posible de encajarlo. (Jecrespom, 2017)

Existen algunas versiones de placas CNC shields, las mismas que se detallan en la Tabla 3.11. En esta se redacta las diferentes características con las que cuenta cada tarjeta, las mismas que permiten seleccionar la shield apropiado para su implementación en el desarrollo del presente proyecto.

Tabla 3.11: Versiones de placas CNC Shield

Versiones	Descripción
V1	Permite trabajar únicamente con dos motores a pasos.
V2	Permite utilizar tres motores a pasos, los mismos que son controlados únicamente a través de drivers. Cuenta con lector de tarjeta SD y es apilable para placas Arduino: Mega, Uno, Leonardo, etc.
V3	Cuenta con cuatro espacios para el uso de motores paso a paso, los cuales se pueden manejar de manera manual o por medio de drivers. Es compatible con cualquier placa Arduino.
V4	Actualmente es la última versión en este tipo de shield. Se puede utilizar hasta tres motores a pasos y es compatible para Arduino Nano.

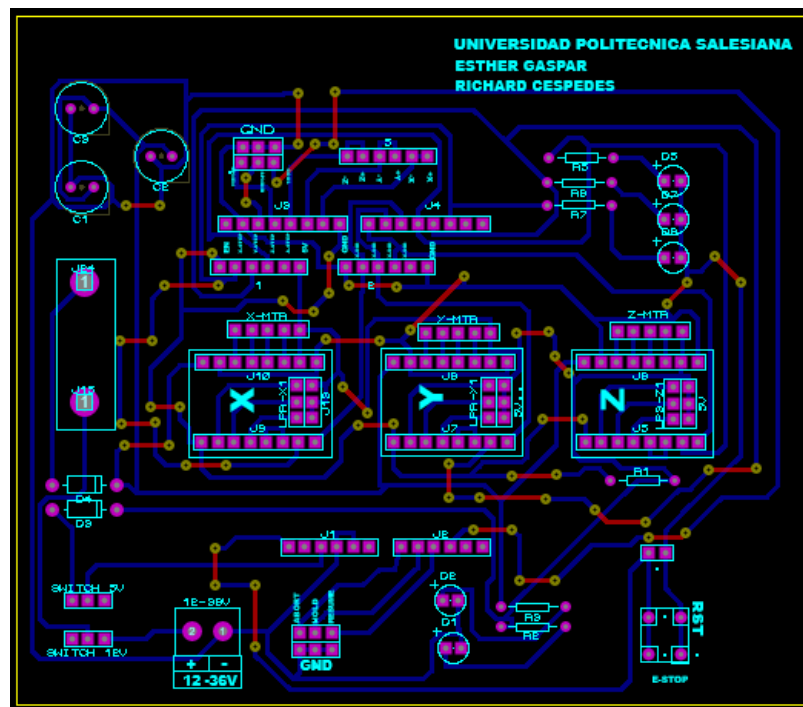
Características propias de cada versión de placa CNC Shield. Autores: Richard Céspedes y Esther Gaspar.

Al conocer las características propias de cada CNC Shield en sus diferentes versiones, se elige la V3, la cual permite trabajar con un máximo de cuatro motores a pasos de dos maneras: por programación y manual. El diseño electrónico original de esta shield fue modificado tomando en cuenta las necesidades del sistema, es decir, se eliminaron algunos pines que no son requeridos: pines de comunicación y pines para colocar un motor a pasos. Así mismo, se añadieron: diodos de polarización inversa, fusible de

protección, *switches* de encendido para control y potencia, LED's indicadores para: los encendidos de la alimentación de 5Vcc y 12Vcc, funcionamiento de los motores en los diferentes ejes. Todo esto se puede apreciar en el Anexo 5.

El diseño y modificación de la placa CNC Shield V3 se lo ejecuta en la aplicación de Proteus 8 Professional, el mismo que permite realizar circuitos electrónicos previo a obtener un PCB (circuito impreso). Al realizar el ruteo del circuito en el programa Proteus se logra observar la cantidad de pistas requeridas para conseguir un funcionamiento óptimo de la tarjeta shield diseñada (ver Figura 3.8).

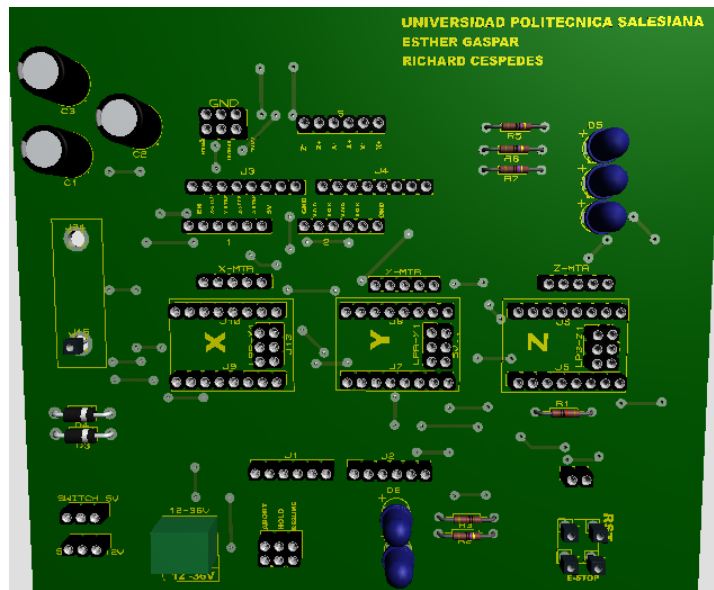
Figura 3.8. Ruteo de la placa CNC Shield



Circuito ruteado en Proteus. Autores: Richard Céspedes y Esther Gaspar.

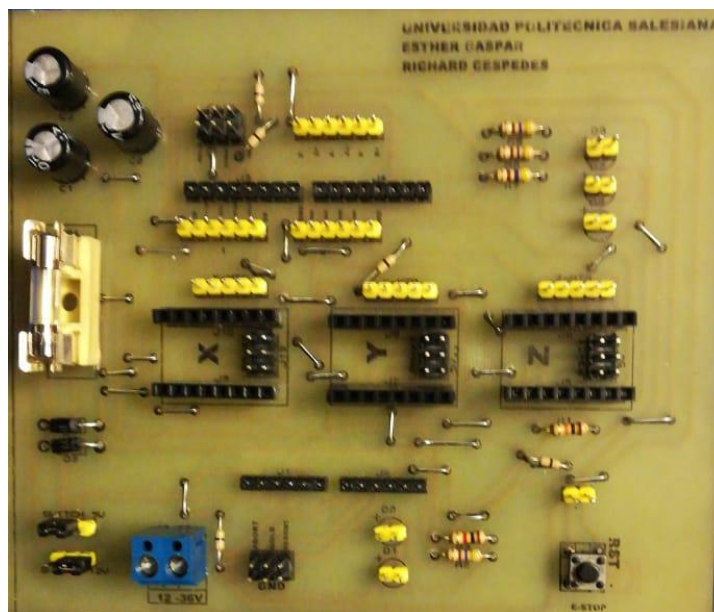
En la Figura 3.9 se aprecia el diseño final realizado en el programa Proteus de la tarjeta CNC Shield, mientras que en la Figura 3.10 se observa a la misma en un PCB. La misma que tiene las siguientes dimensiones: Ancho de 12.5cm y alto de 11cm, además cuenta con la identificación de cada pin para ubicar correctamente los elementos electrónicos sobre la placa.

Figura 3.9. Diseño en 3D de la placa CNC Shield



Diseño en 3D realizado en Proteus 8 Professional. Autores: Richard Céspedes y Esther Gaspar.

Figura 3.10. PCB de la CNC Shield



PCB de la placa implementada para el prototipo a láser. Autores: Richard Céspedes y Esther Gaspar.

El Arduino al cual se le apila la placa CNC Shield V3 es el de la serie Uno. Este se lo eligió por contar con pines de: alimentación, digitales y PWM, los cuales son los únicos utilizados por la tarjeta shield. Al no requerir de muchos pines de salida se descartó el uso de otra versión de la placa de desarrollo.

3.2.3. Fuente de Alimentación

Al saber los datos técnicos de los elementos electrónicos a utilizarse en el prototipo a láser, se dispone a obtener una fuente de alimentación que proporcione y soporte los valores de tensión e intensidad de corriente que requieren los componentes: motores, láser, ventiladores y placas. El estudio de carga requerido para el prototipo a láser se aprecia en la Tabla 3.12.

Tabla 3.12: Estudio de carga

CANTIDAD	COMPONENTES	CARGA (A)
2	Motores NEMA 17 a 0.4A	1.6
1	Motor NEMA 17 a 1.2A	2.4
2	Ventiladores	1
1	Láser	1
1	Arduino Uno	0.3
1	Placa CNC Shield	0.5

Corriente usada por cada componente electrónico. Autores: Richard Céspedes y Esther Gaspar.

Nota: La cantidad de corriente requerida por los motores bipolares NEMA es por fase. Es decir, un actuador de este ocupa 0.4 A en una bobina, por lo cual se duplica el valor de corriente usada (0.8 A).

Con los valores de corriente indicados en la Tabla 3.13, se obtiene una intensidad total de 6.8 A. Es así que se elige una fuente *switching* (conmutada), la misma que proporciona: corriente y voltaje continuo para alimentar a los elementos utilizados en el proyecto. En la Tabla 3.13 se detalla los datos técnicos con los que cuenta la fuente conmutada.

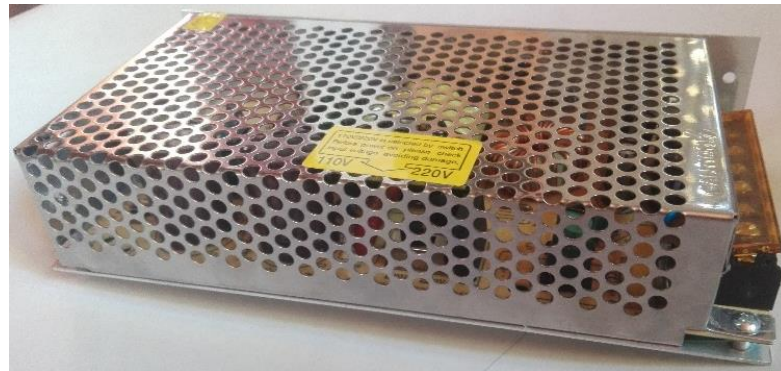
Tabla 3.13: Especificaciones de la fuente de alimentación

Voltaje de salida	12Vcc
Corriente máxima de salida	10 A
Voltaje de entrada	110Vac - 220 Vac
Número de salidas	18
Tipo de caja	Metálica
Peso	1.95Kg

Características técnicas de la fuente conmutada a utilizarse en el proyecto. Autores: Richard Céspedes y Esther Gaspar.

En la Figura 3.11 se observa la fuente que se utiliza para proporcionar voltaje y corriente a todos los elementos electrónicos con los que cuenta el prototipo a láser. Esta cuenta con un led indicador de funcionamiento (color verde) en la parte trasera de la carcasa.

Figura 3.11. Fuente Conmutada

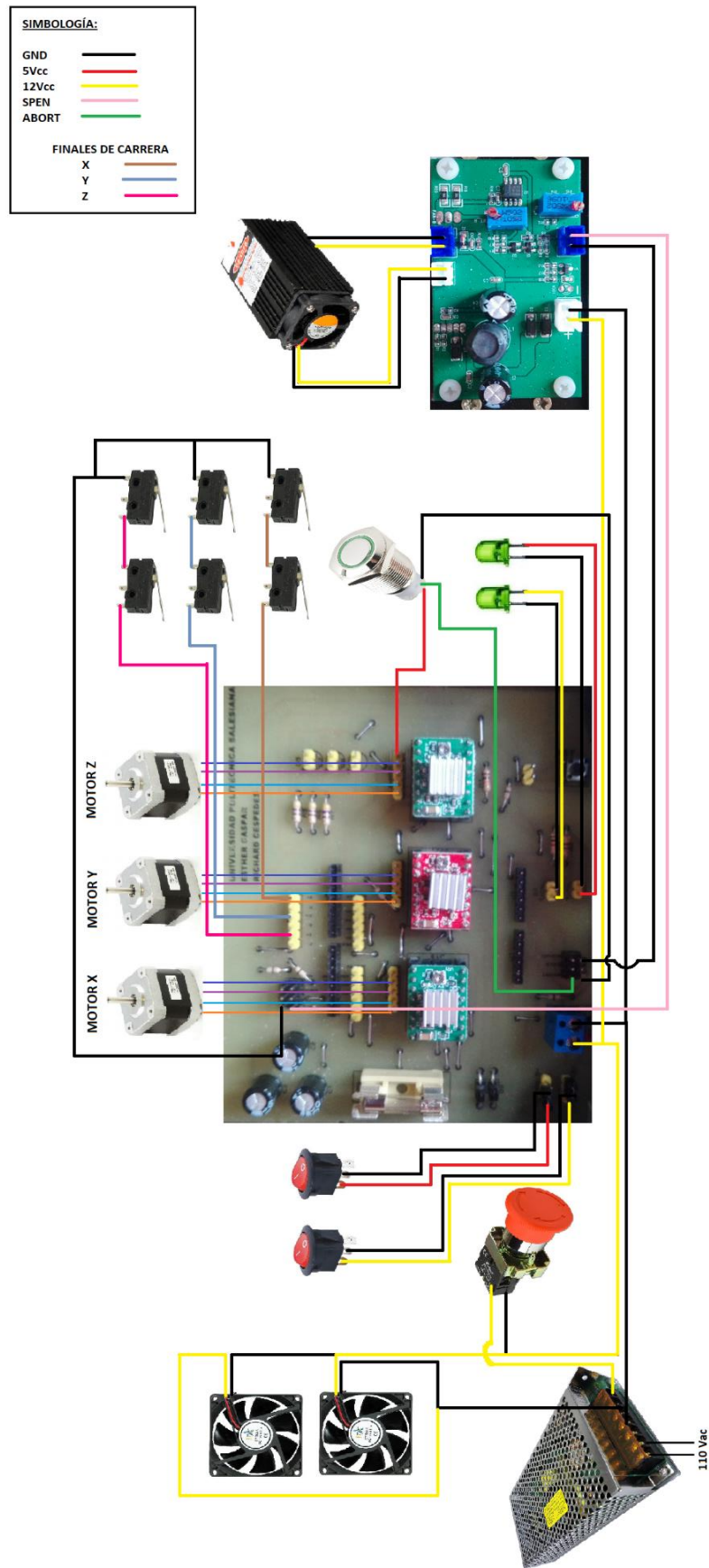


Vista lateral de la fuente *switching* utilizada en el proyecto. Autores: Richard Céspedes y Esther Gaspar.

3.2.4. Esquema Electrónico

Una vez obtenidos los elementos electrónicos que se van a utilizar para el prototipo a láser: motores, drivers, placa shield, Arduino Uno, láser, etc., se procede a realizar las respectivas conexiones entre ellos, tal como se observa en la Figura 3.12.

Figura 3.12. Conexiones entre los elementos electrónicos



Esquema electrónico del prototipo a láser. Autores: Richard Céspedes y Esther Gaspar.

3.3. Software

Para completar el desarrollo del prototipo a láser para el etiquetado sobre la cáscara de frutos dulces, el mismo requiere la utilización de tres programas, los cuales son:

- **LaserGRBL:** Es un firmware, el cual permite que la lista de código G sea interpretado en la placa Arduino Uno, el mismo debe de estar previamente programado con el GRBL. Este interpreta las órdenes recibidas desde una PC y las traduce en órdenes de movimiento por medio de *drivers* hacia los motores que gobiernan los ejes.
- **Inkscape:** Software libre y de código abierto que permite vectorizar cualquier tipo de imagen de formato jpg y convertirlo en GCODE.
- **CNC Control:** Software libre que permite el movimiento de los ejes de una máquina CNC de forma manual o automática mediante la ejecución del mismo programa en lenguaje GCODE. Dispone de una ventana que permite visualizar la imagen a imprimir sobre cualquier superficie y sistema de seguridad para controlar los límites físicos en la máquina.

3.3.1. Configuración del GRBL

Se debe conectar el Arduino Uno a la PC y posteriormente abrir el programa “GRBL”, en donde se modifican los siguientes parámetros:

- **\$0 (Pulsos por pasos, microsegundos):** Ancho de pulso que recibe del Arduino.
- **\$1 (Demora de inactividad por pasos, mseg):** Tiempo de retardo después de realizar alguna orden. Es decir, evita la pérdida de pasos.
- **\$5 (Pines de límite invertidos, bool):** Permite la activación de los finales de carrera: NC (normalmente cerrado, “1” lógico) y NA (normalmente abierto, “0” lógico).
- **\$10 (Informe de estado, máscara):** Permite activar los estados de alarma al momento de accionar los finales de carrera y si existe algún error en los motores.
- **\$11 (Desviación de la unión, mm):** Permite la exactitud al momento de realizar curvas en el grabado.

- **\$12 (Tolerancia de arco, mm):** Permite la exactitud al momento de realizar curvas en nanotecnología.
- **\$21 (Límites duros, bool):** Permite habilitar el uso de los finales de carrera junto con el parámetro “\$5”.
- **\$22 (Ciclo de inicio, bool):** Permite activar el ciclo *Homing*, el cual realiza un rastreo de todos los finales de carrera, con el fin de ubicar un punto de origen en la máquina CNC.
- **\$23 (Dirigir dir invertir: binary):** Permite seleccionar la dirección hacia donde se desea enviar el *Homing*, o el punto de origen. Existen varios valores: \$23=1 hacia atrás y derecha, \$23=2 hacia adelante e izquierda, \$23=3 hacia adelante y derecha.
- **\$24 (Alimentación de referencia, mm/min):** Velocidad a la cual se desplazan los motores al momento del *Homing*.
- **\$25 (Búsqueda de inicio, mm/min):** Velocidad a la cual los motores realizan la búsqueda de los finales de carrera durante el *Homing*.
- **\$26 (Rebote de referencia, ms):** Evita rebote entre los ejes de la estructura con los finales de carrera.
- **\$27 (Retirada de inicio, mm):** Distancia a la cual se separan los ejes con los finales de carrera.
- **\$100, \$101 y \$102 (X, Y, Z pasos/mm):** Permiten conocer los pasos que tienen que realizar los motores para recorrer 1mm.
- **\$110, \$111 y \$112 (X, Y, Z Velocidad máxima, mm/min):** Velocidad con la que los motores recorren los pasos.
- **\$120, \$121 y \$122 (X, Y, Z Aceleración, mm/seg²):** Permite realizar una variación de velocidad en los motores al momento de su recorrido.

Para visualizar todos los parámetros con los que cuenta el software “LaserGRBL” se coloca el comando “\$” seguido de la tecla “ENTER”. Mientras que para visualizar o configurar alguno de los mismos se teclea “\$\$” seguido del “ENTER”. Estas modificaciones se mantienen en la EEPROM (Memoria solo de lectura programable y borrrable eléctricamente) del Arduino, es decir, los datos no se pierden ni se borran de la placa así esta no esté conectada o encendida.

En la Figura 3.13 se puede observar cada uno de los parámetros ya configurados en el programa “LaserGRBL” con los valores respectivos para el funcionamiento de los motores.

Figura 3.13. Parámetros configurados en “LaserGRBL”

#	Parameter	Value	Unit
\$0	Step pulse time	10	microseconds
\$1	Step idle delay	25	milliseconds
\$4	Invert step enable pin	1	boolean
\$5	Invert limit pins	1	boolean
\$10	Status report options	0	mask
\$11	Junction deviation	0;010	millimeters
\$12	Arc tolerance	0;002	millimeters
\$21	Hard limits enable	1	boolean
\$22	Homing cycle enable	1	boolean
\$23	Homing direction invert	0	mask
\$24	Homing locate feed rate	50;000	mm/min
\$25	Homing search seek rate	500;000	mm/min
\$26	Homing switch debounce delay	250	milliseconds
\$27	Homing switch pull-off distance	5;000	millimeters
\$100	X-axis travel resolution	38;000	step/mm
\$101	Y-axis travel resolution	38;000	step/mm
\$102	Z-axis travel resolution	36;000	step/mm
\$110	X-axis maximum rate	1000;000	mm/min
\$111	Y-axis maximum rate	1000;000	mm/min
\$112	Z-axis maximum rate	1000;000	mm/min
\$120	X-axis acceleration	600;000	mm/sec ²
\$121	Y-axis acceleration	600;000	mm/sec ²
\$122	Z-axis acceleration	600;000	mm/sec ²

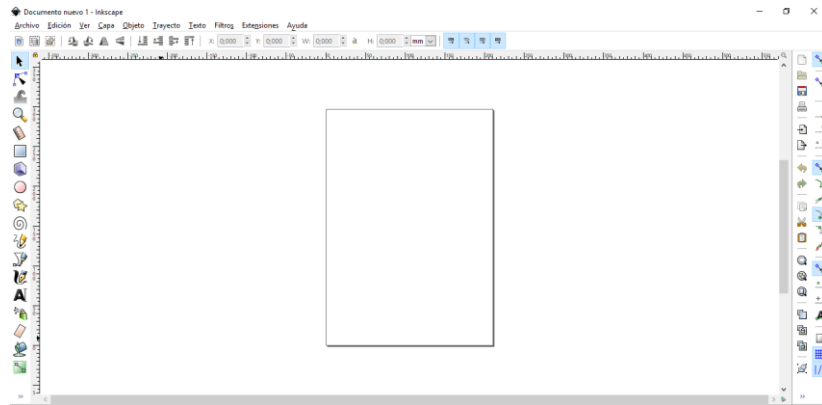
Parámetros utilizados en el software “LaserGRBL”. Autores: Richard Céspedes y Esther Gaspar

3.3.2. Utilización del Inkscape

Para realizar de manera correcta la vectorización de las imágenes a utilizar en el etiquetado sobre la cáscara de manzanas verdes, se deben seguir los siguientes pasos de forma secuencial, caso contrario el etiquetado no se realizará o lo hará de forma errónea:

- a. Al iniciar el software Inkscape se visualiza la Figura 3.14, la misma que muestra el entorno del programa en el que se va a trabajar.

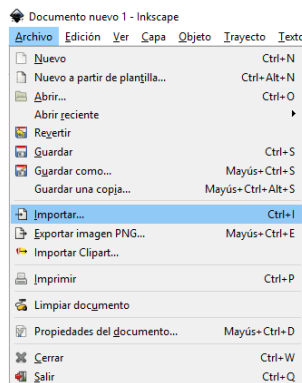
Figura 3.14. Programa Inkscape



Entorno de trabajo del programa Inkscape. Autores: Richard Céspedes y Esther Gaspar.

- b. Clic en “Archivo” y luego seleccionar “Importar”, ver Figura 3.15.

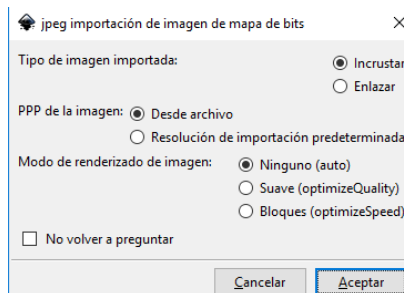
Figura 3.15. Selección “Importar”



Importar al programa la imagen a vectorizar. Autores: Richard Céspedes y Esther Gaspar.

- c. Seleccionar la imagen a vectorizar y dar clic en “Aceptar”.
- d. En la ventana que aparece se selecciona “Aceptar”, ver Figura 3.16.

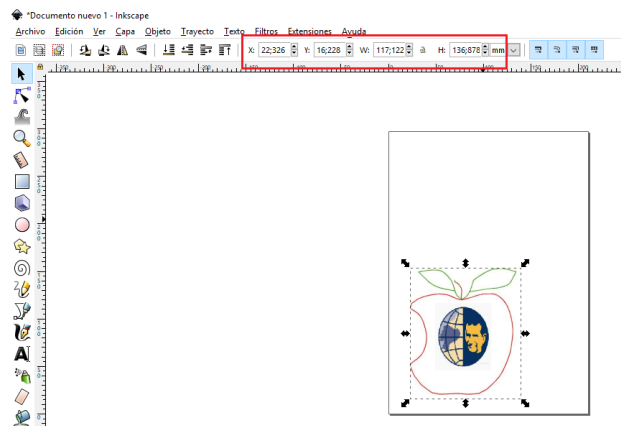
Figura 3.16. Selección de “Aceptar”



Aceptar la imagen a importar y vectorizar. Autores: Richard Céspedes y Esther Gaspar.

- e. Una vez que la imagen seleccionada aparece en el entorno del programa, se debe configurar los siguientes datos: X y Y indica los puntos de ubicación de la imagen en el software, W el ancho y H la altura de la imagen. Estos parámetros se ubican en la parte superior del Inkscape. Ver Figura 3.17.

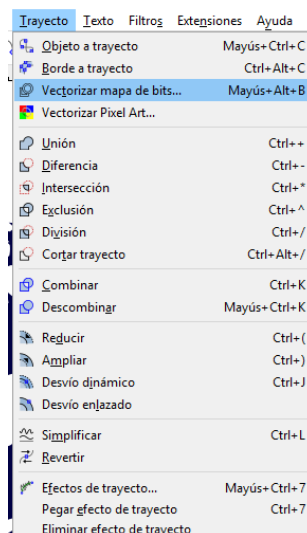
Figura 3.17. Modificación de la imagen importada



Parámetros a modificar en la imagen importada. Autores: Richard Céspedes y Esther Gaspar.

- f. En la barra de herramientas seleccionar “Trayecto” y escoger “Mapa de bit”, tal como se indica en la Figura 3.18.

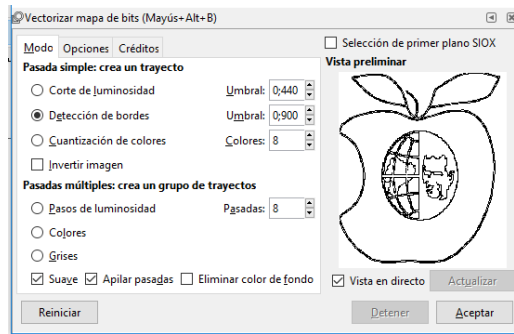
Figura 3.18. Selección “Mapa de bit”



Convertir la imagen importada en mapa de bit. Autores: Richard Céspedes y Esther Gaspar.

- g. En la Figura 3.19 se observa a la imagen seleccionada en mapa de bits, para completar la conversión de la misma se da clic en “Aceptar”.

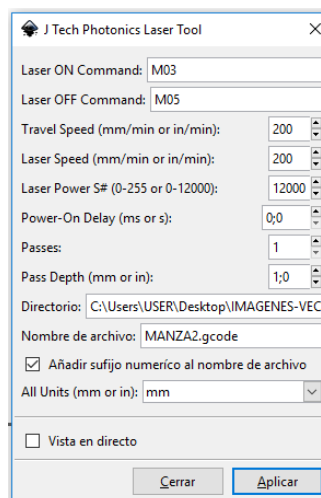
Figura 3.19. Imagen en mapa de bit



Visualización de la imagen importada en mapa de bit. Autores: Richard Céspedes y Esther Gaspar.

- h. En la barra de herramientas seleccionar “Trayecto” y después dar clic en “Objeto Trayecto”. Esto permite reducir los puntos de vectorización para que el etiquetado sea más sencillo.
- i. Seleccionar “Trayecto” de la barra de herramienta, posteriormente dar clic en “Desvío dinámico”. Con esta opción se logra ver la trayectoria del grabado.
- j. Dar clic en “Extensiones”, luego en “Generate Laser Gcode” y después clic en “J Tech Photonics Laser Tool”. En la ventana que aparece se selecciona “Aplicar”, una vez colocado la ubicación en donde se guardará el archivo GCODE generado. Ver Figura 3.20.

Figura 3.20. Generar GCODE



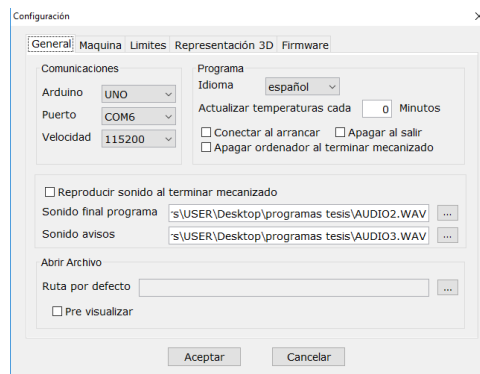
Generación del GCODE de la imagen a utilizar. Autores: Richard Céspedes y Esther Gaspar.

3.3.3. Utilización del CNC Control

A continuación, se describen los pasos para el uso del programa “CNC Control”, el mismo permite el accionamiento y control de: los motores en los diferentes ejes y el uso del láser para realizar el etiquetado sobre la cáscara de frutos dulces:

- a. Al conectar el puerto USB del Arduino se procede a acceder al software “CNC Control”, en donde se debe dar clic en “Configuración”. Esto permite conectarse al puerto de la placa. Ver Figura 3.21.

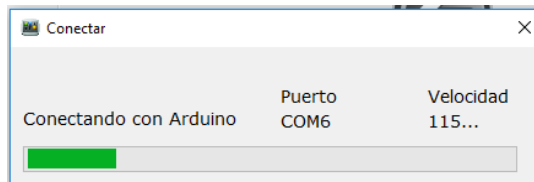
Figura 3.21. Comunicación Arduino - Software



Establecer comunicación entre el programa y Arduino. Autores: Richard Céspedes y Esther Gaspar.

- b. Establecida la conexión entre el software y hardware, se da clic en “Aceptar”, después se observa una ventana indicando la comunicación con la placa Arduino. Ver Figura 3.22.

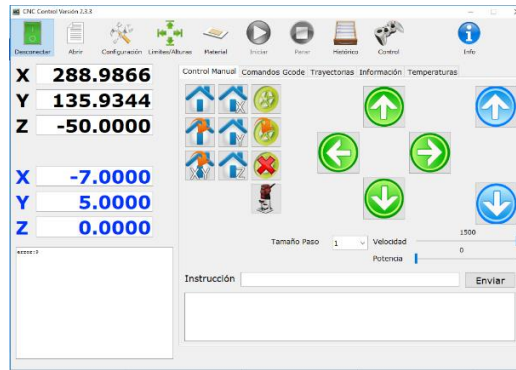
Figura 3.22. Conexión Software - Hardware



Comunicación entre CNC Control con la placa Arduino. Autores: Richard Céspedes y Esther Gaspar.

- c. En la Figura 3.23 se observa el entorno de trabajo del programa a utilizar, esto se logra una vez establecido la conexión entre el programa y el Arduino Uno de manera correcta.

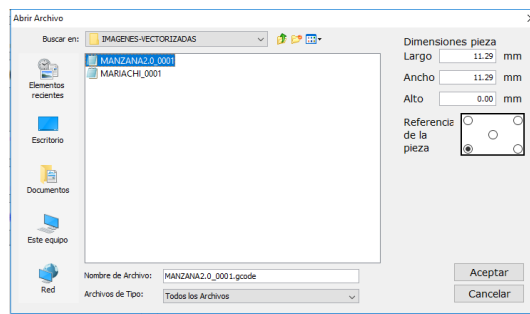
Figura 3.23. Software “CNC Control”



Entorno de trabajo del programa a utilizar. Autores: Richard Céspedes y Esther Gaspar.

- d. Dar clic en “Abrir”, seleccionar el archivo GCODE a grabar sobre la cáscara de la fruta y luego “Aceptar”. Ver Figura 3.24.

Figura 3.24. GCODE a utilizar



Selección del archivo GCODE a usar. Autores: Richard Céspedes y Esther Gaspar.

- e. En el entorno del programa se despliega todo el GCODE generado en el software Inkscape. Ver Figura 3.25.

Figura 3.25. GCODE de la imagen a utilizar

```

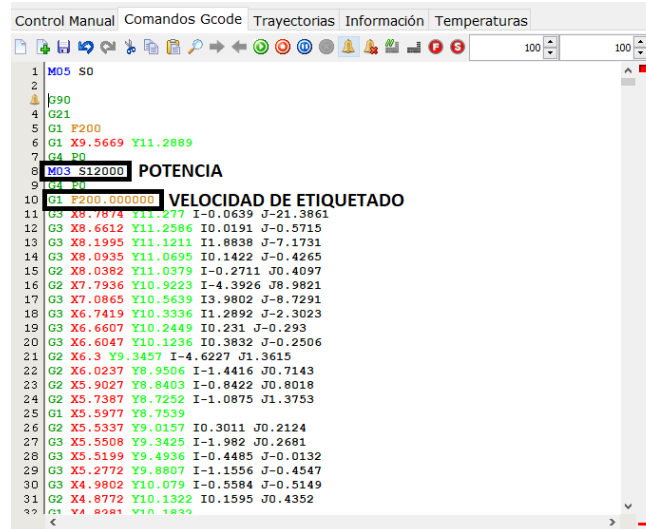
1 M05 S0
2
3 G90
4 G21
5 G1 F200
6 G1 X9.5669 Y11.2889
7 G4 P0
8 M03 S12000
9 G4 P0
10 G1 F200.000000
11 G3 X8.7874 Y11.277 I=-0.0639 J=-21.3861
12 G3 X8.6612 Y11.2586 I0.0191 J=-0.5715
13 G3 X8.1995 Y11.1211 I1.8838 J=-7.1731
14 G3 X8.0935 Y11.0695 I0.1422 J=-0.4265
15 G2 X8.0382 Y11.0375 I=-0.2711 J0.4097
16 G2 X7.7936 Y10.9223 I=-4.3926 J8.9821
17 G3 X7.0865 Y10.5639 I3.9802 J=-8.7291
18 G3 X6.7419 Y10.3336 I1.2892 J=-2.3023
19 G3 X6.6007 Y10.2449 I0.231 J=-0.293
20 G3 X6.6047 Y10.1296 I0.3832 J=-0.2506
21 G2 X6.3 Y9.3457 I=-4.6227 J1.3615
22 G2 X6.0237 Y8.9506 I=-1.4416 J0.7143
23 G2 X5.9027 Y8.8403 I=-0.8422 J0.8018
24 G2 X5.7367 Y8.7252 I=-1.0875 J1.3753
25 G1 X5.5977 Y8.7539
26 G2 X5.5337 Y9.0157 I0.3011 J0.2124
27 G3 X5.5508 Y9.3425 I=-1.982 J0.2681
28 G3 X5.5199 Y9.4936 I=-0.4485 J=-0.0132
29 G3 X5.2772 Y9.8807 I=-1.1556 J=-0.4547
30 G3 X4.9802 Y10.079 I=-0.5584 J=-0.5149
31 G2 X4.8772 Y10.1322 I0.1595 J0.4352
32 G3 X4.8581 Y10.1322

```

GCODE para el etiquetado sobre la cáscara de fruta. Autores: Richard Céspedes y Esther Gaspar.

- f. El software permite realizar algunos ajustes en cuanto a: PWM (modulación por ancho de pulso) y la velocidad del etiquetado. Ver Figura 3.26.

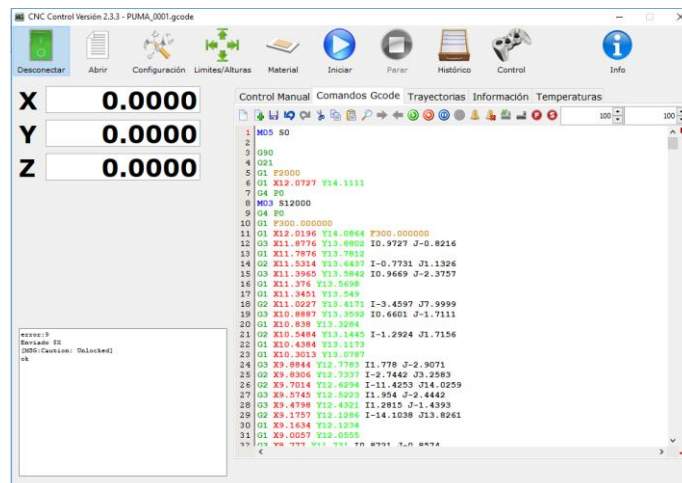
Figura 3.26. Modificación del PWM y velocidad del láser



Parámetros de velocidad y PWM para el etiquetado. Autores: Richard Céspedes y Esther Gaspar

- g. Dar clic en “Iniciar” para comenzar con el etiquetado de la imagen vectorizada sobre la cascara de manzana verde. Al realizar esto, se escucha un mensaje de prevención para el usuario que dice: “Utilizar gafas de seguridad”. Ver Figura 3.27.

Figura 3.27. Dar clic en “Iniciar” para el etiquetado a láser



Ubicación del puntero láser en el punto de origen. Autores: Richard Céspedes y Esther Gaspar.

CAPÍTULO 4

PRUEBAS Y RESULTADOS

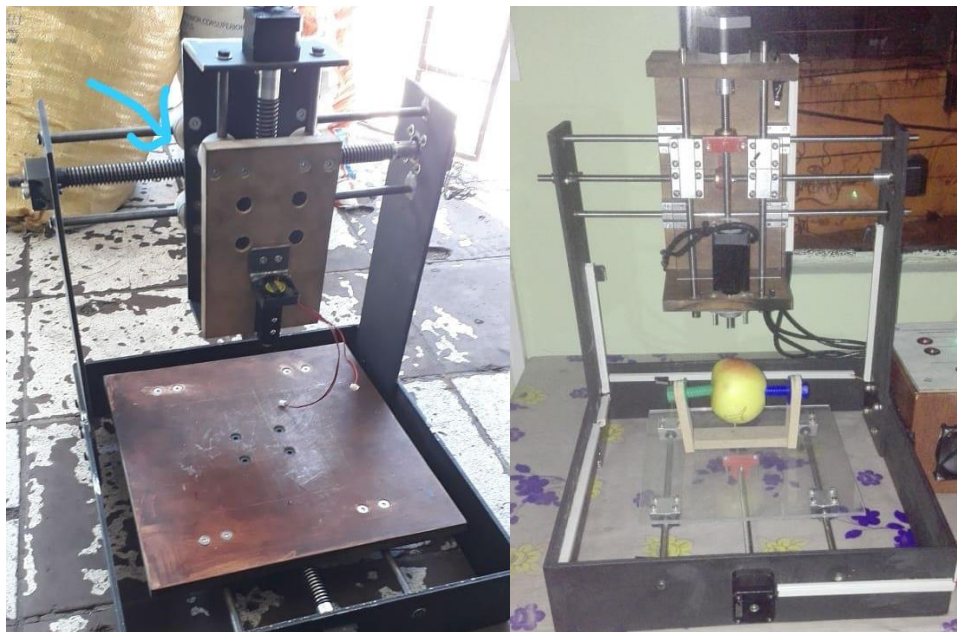
En este inciso se toman diferentes pruebas del etiquetado sobre la cáscara de manzanas verdes, para posteriormente analizar los datos obtenidos y ver que configuraciones o valores son los adecuados para establecer un adecuado funcionamiento del prototipo.

Previo a obtener el resultado final del prototipo a láser para el etiquetado sobre la cáscara de frutos dulces, tanto en hardware como en software, se tuvo que pasar por varias modificaciones en el diseño de la estructura y realizar varias pruebas sobre la cáscara de manzanas verdes para obtener un etiquetado visible, entendible y sobretodo que no altere la composición del alimento, en cuanto a sabor y textura.

4.1. Modificación de la estructura

Al inicio la estructura contaba con otros elementos para el desplazamiento de los diferentes ejes, explicados en la Tabla 4.1. Los cuales al utilizarlos para realizar varias prácticas en el movimiento del prototipo a láser no satisfacían al sistema mecánico. En la Figura 4.1 se puede observar el cambio que la estructura ha sufrido desde su inicio hasta su estructura final.

Figura 4.1. Prototipo antiguo vs. Prototipo actual



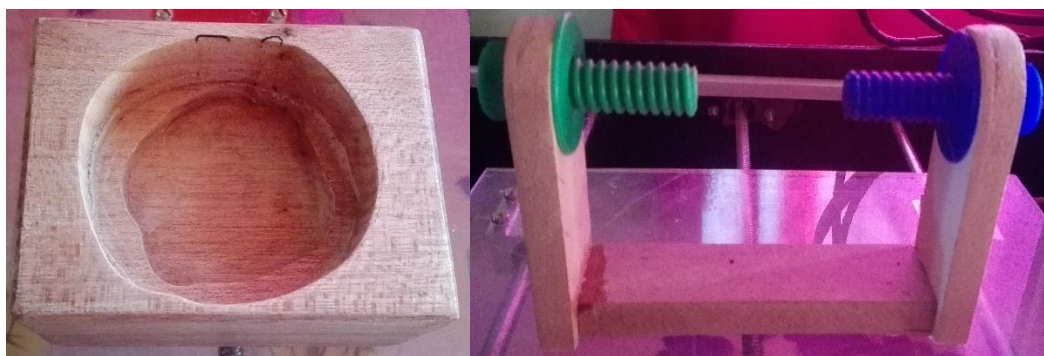
Cambios físicos del prototipo a láser. Autores: Richard Céspedes y Esther Gaspar.

Tabla 4.1: Elementos descartados para el prototipo a láser

Elemento	Descripción
Husillo	El tornillo sin fin utilizado al inicio era de 8 hilos con un diámetro de 10mm. Al realizar el movimiento de los ejes con estos husillos se observó que dicho desplazamiento era muy lento, por esta razón se optó en cambiar el diámetro del tornillo sin fin por uno menor, es decir se trabaja actualmente con uno de 4 hilos y con un diámetro de 8mm, consiguiendo con esto mejorar la relación entre el desplazamiento angular del motor con el lineal del tornillo.
Duralón	Inicialmente se contaba con duralón para realizar el desplazamiento de los ejes, pero este ejercía un coeficiente de fricción de $\mu=0.3$ sobre los ejes acerados, lo cual provocaba que los motores ejercieran un torque muy alto para realizar los movimientos en los ejes. Razón por la cual se implementó el uso de rodamientos lineales, los mismos que cuenta con un coeficiente de fricción de $\mu=0.001$, lo que permite un desplazamiento ligero en el movimiento de los motores.
Soporte del láser	Se contaba con un soporte realizado en MDF, el cual era muy pesado para sujetar un láser. Es así, que se realiza esta pieza en acrílico, material ligero que aporta para un movimiento más fluido.
Base horizontal	Fragmento hecho inicialmente en MDF, pero al requerir un espacio amplio para desplazarse en el eje Y se eligió realizar esta base en acrílico y con dimensiones más pequeñas. Esto favorece al que el movimiento en ese eje sea más liviano.
Soporte para frutas	Al inicio se realizó un molde para ubicar las manzanas, pero este contaba con un diámetro fijo, lo que ocasionó que la fruta sufra vibraciones al momento del etiquetado. Es por esto que se optó por un realizar un tipo prensa con tornillos de plásticos y soportes de madera (ver Figura 4.2). Esta última sujeta a la fruta de tal manera que no sufre vibraciones al momento del etiquetado a láser.

Cambios en los elementos utilizados en la estructura. Autores: Richard Céspedes y Esther Gaspar.

Figura 4.2. Sujetador de frutas



Sujetar antiguo vs. actual. Autores: Richard Céspedes y Esther Gaspar.

4.2. Pruebas de etiquetado

Para realizar el etiquetado a láser sobre la cáscara de manzanas verdes se realizó algunas investigaciones sobre el uso de esta técnica, la misma que es utilizada desde el año 2013 bajo la aprobación del Reglamento (UE), Unión Europea, N° 510/2013 en donde permiten el uso del láser para realizar despigmentaciones sobre frutas o verduras. Pero no menciona especificaciones o datos técnicos del uso del láser sobre los alimentos de consumo humano. Por esta razón se ha tomado en cuenta dos variables para obtener un etiquetado legible sobre la cáscara de manzanas verdes: potencia del láser y velocidad de etiquetado. Estos últimos fueron establecidos como parámetros importantes después de haber realizado varias pruebas en frutas y observando que ambas variables al ser modificadas afectan al resultado final del etiquetado.

Para el uso de la técnica por medio del láser se debe seleccionar primero la imagen a utilizar para el etiquetado (ver Figura 4.3) se procede a ajustar algunos parámetros (ver Tabla 4.2) para evitar que el láser atraviese la cáscara de la fruta, es decir se logre solo una pigmentación sobre el alimento.

Al lograr variar el PWM desde el software “CNC Control”, se modifica la potencia de trabajo del láser. En la Ec. (4.1) por medio de una regla de tres se logra conocer el valor de potencia con el que el láser va a realizar el etiquetado.

$$P = \frac{P_{max} * A}{Max} \quad \text{Ec. (4.1)}$$

Donde: P: es el valor de potencia en W.

Pmax: es el valor de potencia máxima, en este caso de 2.5W.

A: es la relación de potencia utilizada o PWM utilizado en el software para el etiquetado a láser.

Max: es la relación de potencia máxima, en este caso de 12000.

Reemplazando los valores de relación de potencia se obtiene la Ec. (4.2), que indica el valor de la potencia con el que se trabaja en el etiquetado a láser. Los resultados obtenidos con la Ec. (4.2) proporcionan los datos de potencia indicados en la Tabla 4.2.

$$P = \frac{2.5 * A}{12000} \quad \text{Ec. (4.2)}$$

Figura 4.3. Imagen utilizada en el etiquetado a láser



Imagen utilizada para realizar el etiquetado a láser. Autores: Richard Céspedes y Esther Gaspar.

Tabla 4.2: Primeros valores para el etiquetado sobre la cáscara de manzana verde

N°	RELACIÓN POTENCIA UTILIZADA	POTENCIA (W)	VELOCIDAD (mm/min)	TIEMPO (seg)
1	12000	2.5	400	20
2	12000	2.5	350	22
3	12000	2.5	300	26
4	12000	2.5	250	30
5	12000	2.5	200	37
6	12000	2.5	150	49
7	12000	2.5	100	72
8	12000	2.5	50	132

Valores para los primeros etiquetados a láser. Autores: Richard Céspedes y Esther Gaspar.

Los valores mostrados en la Tabla 4.2 se obtuvieron al realizar varios etiquetados a láser sobre la cáscara de manzana verde teniendo el valor de la potencia al máximo y constante, mientras que la velocidad se la iba modificando con un intervalo de 50mm/min. Se utilizó una velocidad máxima de 400mm/min porque en la cáscara de la fruta no se lograba apreciar ninguna imagen en el momento justo terminado el etiquetado (ver Figura 4.4). Mientras que en la Figura 4.5 se observa una pigmentación sobre la cáscara de la fruta y no el quemado de la misma con los datos N° 6 de la Tabla 4.2, razón por la cual en las siguientes pruebas se tiene una velocidad constante de 150mm/min y un PWM con intervalos de 1000 (ver Tabla 4.3).

Figura 4.4. Etiquetado N° 1 de acuerdo a la Tabla 4.2



Datos especificados en el N° 1 de la Tabla 4.2. Autores: Richard Céspedes y Esther Gaspar.

Figura 4.5. Etiquetado N°6 de acuerdo a la Tabla 4.2



Datos especificados en el N° 6 de la Tabla 4.2. Autores: Richard Céspedes y Esther Gaspar.

Al realizar cada una de las pruebas con los datos de la Tabla 4.3 se procede a observar cuál de las diferentes muestras tomadas, presentan únicamente una despigmentación notable mas no una perforación, quemadura o daño significativo en la fruta. Con lo cual se cumple lo mencionado en el Reglamento (UE) 510/2013, por esta razón se selecciona únicamente la muestra realizada con los valores N° 4 de la Tabla 4.3.

Tabla 4.3: Segundo datos para el etiquetado sobre la cáscara de manzana verde

N°	RELACIÓN POTENCIA UTILIZADA	POTENCIA (W)	VELOCIDAD (mm/min)	TIEMPO (seg)
1	11000	2.29	150	49
2	10000	2.08	150	49
3	9000	1.88	150	49
4	8000	1.67	150	49
5	7000	1.46	150	49
6	6000	1.25	150	49
7	5000	1.04	150	49

Valores para las siguientes pruebas a láser. Autores: Richard Céspedes y Esther Gaspar.

Figura 4.6. Etiquetado N° 4 de acuerdo a la Tabla 4.3



Datos especificados en el N° 4 de la Tabla 4.3. Autores: Richard Céspedes y Esther Gaspar.

Después de una hora de haber elaborado todas las pruebas se observaron algunos cambios en lo etiquetados realizados, por ejemplo:

- La imagen de la Figura 4.4 es más notoria, la utilización del láser no afectó a la fruta y se logró un etiquetado correcto en cuanto a: visibilidad, textura y sabor de la manzana verde. Ver Figura 4.7.

Figura 4.7. Etiquetado N° 1 de acuerdo a la Tabla 4.2 después de una hora



Imagen revisada después de una hora del etiquetado. Autores: Richard Céspedes y Esther Gaspar.

- La imagen de la Figura 4.5 no pigmentó la cáscara de la fruta, por lo contrario, la quemó en ciertas partes del grabado (ver Figura 4.8), razón por la cual los valores utilizados para ese etiquetado quedan descartados.

Figura 4.8. Etiquetado N° 6 de acuerdo a la Tabla 4.2 después de una hora



Imagen revisada después de una hora del etiquetado. Autores: Richard Céspedes y Esther Gaspar.

- La imagen de la Figura 4.6 al revisarla se observó pequeñas perforaciones en donde se realizó el etiquetado a láser (ver Figura 4.9), es por esta razón que igual queda descartada para próximas pruebas.

Figura 4.9. Etiquetado N° 4 de acuerdo a la Tabla 4.3 después de una hora



Imagen revisada después de una hora del etiquetado. Autores: Richard Céspedes y Esther Gaspar.

Al conocer los valores de potencia para el láser (2.5W) y velocidad de etiquetado (400mm/min), los mismos que garantizan y cumplen con el Reglamento (UE) 510/2013, se procede a tomar un número de muestra para garantizar el buen funcionamiento del prototipo a láser. Este último valor se lo obtiene mediante una regla de tres, Ec. (4.3), tomando como referencia las piezas que etiqueta en una hora una máquina industrial perteneciente a la Empresa “LASER FOOD”, LMS-2. Dicha empresa es pionera en algunos países de Europa en esta nueva tecnología de etiquetado sobre la cáscara de frutas y verduras.

$$x = \frac{N*100\%}{NP} \quad \text{Ec. (4.3)}$$

Donde: x: porcentaje de la cantidad de frutas etiquetadas por el prototipo a láser.

N: número de frutas etiquetadas en una hora por el prototipo a láser.

NP: número de frutas etiquetadas en una hora por la máquina industrial, 7200.

Para conocer el valor de N, se utiliza la Ec. (4.4) con los datos especificados en la Tabla 4.2, en el N° 1 específicamente.

$$N = \frac{t*n}{tn} \quad \text{Ec. (4.4)}$$

Donde: t: tiempo expresado en segundos, 3600seg.

n: cantidad de frutas etiquetadas en segundos, 1.

tn: tiempo en segundos que se demora en etiquetar una fruta, 20 segundos.

Al reemplazar los datos de la Ec. (4.4) se obtiene el resultado expresado en la Ec. (4.5).

$$N = \frac{3600seg*1}{20seg} = 180 \quad \text{Ec. (4.5)}$$

Con el valor obtenido de la Ec. (4.5) se puede reemplazar los datos de la Ec. (4.4), logrando el resultado de la Ec. (4.6).

$$x = \frac{180*100\%}{7200} = 2.5\% \quad \text{Ec. (4.6)}$$

Es decir, que el prototipo a láser logra realizar 180 etiquetados en una hora, lo que representa el 2.5% del trabajo total realizado en el mismo tiempo por la máquina industrial LMS-2 perteneciente a “LASER FOOD”.

Realizada las 180 pruebas (Anexo 6), se procede analizar cada uno de los etiquetados hechos sobre la cáscara de manzana verde, en donde se observa que 14 frutas tienen anomalías en el etiquetado. Para hallar el porcentaje de error, se lo hace por medio de la Ec. (4.7).

$$p = \frac{Nm*100\%}{Tp} \quad \text{Ec. (4.7)}$$

Donde: p: es el porcentaje de error en las pruebas.

Nm: número de pruebas erróneas, 14.

Tp: es el total de pruebas realizadas, 180.

Al reemplazar los valores en la Ec. (4.7) se obtiene un valor de error del 7.78% del total de pruebas realizadas con el prototipo a láser. De este número de pruebas erróneas se observó lo siguiente:

- Despigmentación que sufre la cáscara de la fruta una vez terminado el etiquetado a láser, de las cuales 5 muestras de las 180 realizadas no cumplieron con lo requerido en el reglamento de la Unión Europea, sino que se perforó levemente la cáscara del alimento.
- Visibilidad de la figura etiquetada sobre la cáscara de manzana verde, en donde 2 pruebas realizadas no son totalmente apreciables a simple vista.
- Distorsión de la imagen etiquetada sobre la cáscara de fruta, un total de 7 no lograron tener una imagen igual a la mostrada en la Figura 4.3, sino que sufrieron alguna anomalía durante el etiquetado.

Para calcular el porcentaje de error que representa cada factor: despigmentación, visibilidad y distorsión, dentro del error total se procede a calcular dicho valor utilizando la Ec. (4.8).

$$Ep = \frac{c \cdot 100\%}{Nm} \quad \text{Ec. (4.8)}$$

Donde: Ep: porcentaje de error dentro del porcentaje de error en las pruebas.

c: número de pruebas incorrectas dentro de las pruebas erróneas.

Nm: número de pruebas erróneas, 14.

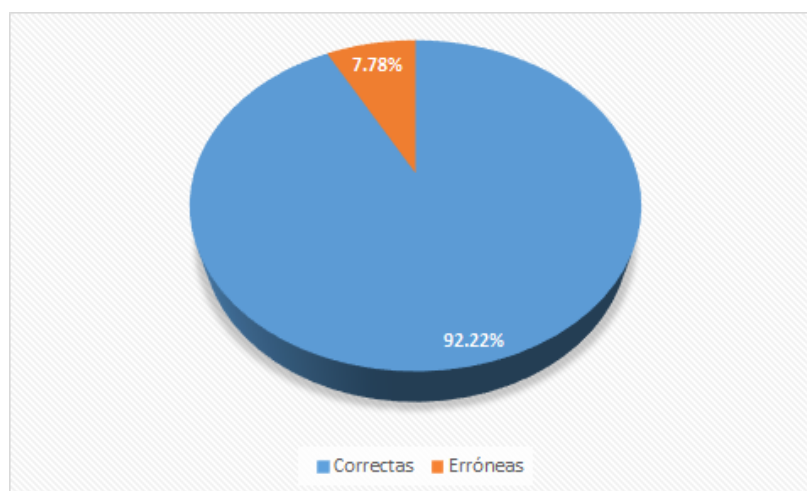
En la Tabla 4.4 se observan los porcentajes de errores obtenidos del error total al calcularlos con la Ec. (4.8). En la Figura 4.10 se observa el porcentaje de error total obtenido de las 180 pruebas realizadas, mientras que en la Figura 4.11 se muestran el porcentaje de error obtenido de acuerdo a: despigmentación, visibilidad y distorsión.

Tabla 4.4: Porcentajes de errores obtenidos del error total

ASPECTOS	Nm	c	Ep (%)
Despigmentación	14	5	35.71
Visibilidad	14	2	14.29
Distorsión	14	7	50

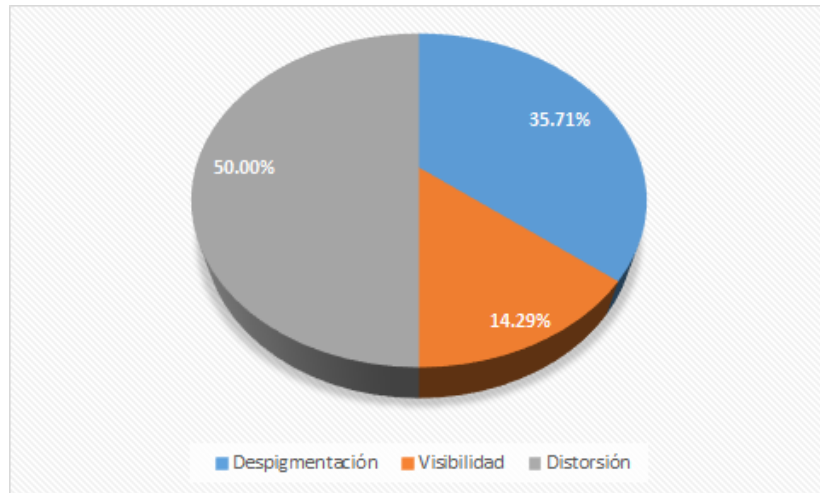
Porcentaje de errores calculados con la Ec. (4.8). Autores: Richard Céspedes y Esther Gaspar.

Figura 4.10. Porcentaje de error total



Porcentajes de errores del total de pruebas realizadas. Autores: Richard Céspedes y Esther Gaspar.

Figura 4.11. Porcentajes de errores de acuerdo al error total



Errores calculados con la Ec. (4.8). Autores: Richard Céspedes y Esther Gaspar.

CONCLUSIONES

- Se desarrolló un prototipo electrónico a láser tomando como referencia el diseño de una CNC Shield V3 implementando la debida circuitería que permitió el funcionamiento esperado para el etiquetado sobre la cáscara de frutos dulces. Para dar fiabilidad al sistema se incluyeron: diodos de protección para la parte de control y potencia (5Vcc y 12Vcc), LED's indicadores de encendido, paro de emergencia y finales de carrera, lo que conllevó a la realización de 180 pruebas de etiquetado sobre la cáscara de manzanas verdes, obteniendo una efectividad del 92.22%, con lo cual se asegura que se ha obtenido un producto que satisface al objetivo de este proyecto.
- Se eligió un láser pulsante basado en semiconductor después de realizar las debidas investigaciones con respecto a: potencia, longitud de onda, precisión en el grabado y tiempo de vida útil, obteniendo el dispositivo adecuado para realizar el trabajo de despigmentar la cáscara de manzanas verdes a través de la variación de: potencia a 2.5W y una velocidad de 400mm/min, con estos valores se logró un etiquetado que no afecta a la composición química de la fruta por medio del rasgado de la cáscara observando que la misma no fue quemada, sino que se cumplió con el Reglamento (UE) N° 510/2013.
- Se diseñó un sistema electrónico basado en láser y se lo controló por medio de una placa CNC Shield, la misma que al utilizarla con la estructura no cumplió con las exigencias del sistema al no contar con una circuitería que proporcione protección y seguridad a los elementos electrónicos. Por esta razón se implementaron modificaciones al diseño de la tarjeta: eliminando pines innecesarios para obtener un etiquetado a láser e incorporando otros sistemas que cumplieran con los requerimientos del prototipo: LED's indicadores, *switch* de encendido para la parte de potencia y control, para de emergencia, finales de carrera y un pulsador de desbloqueo para los mismos. Cada uno de estos componentes permiten la protección de la parte del hardware y software con la que cuenta el prototipo a láser.

- Se observó que la efectividad del prototipo a láser, 92.22%, no alcanza su 100% debido a que del total de errores (14): 5 no cumplieron con la despigmentación adecuada (35.71%) produciendo una ligera perforación en la cáscara de la fruta, 2 etiquetados (14.29%) no fueron visibles debido a que el color de la cáscara de la manzana era muy oscuro o tenía algún golpe y 7 (50%) frutas obtuvieron una imagen distorsionada al terminar el etiquetado debido a no ajustar fuertemente la fruta con la prensa para evitar el movimiento de la misma.
- Se desarrolló la estructura del prototipo a láser en hierro de 5mm de grosor para los soportes verticales y la base, porque este material al ser rígido proporciona robustez al hardware con lo cual se evitó vibraciones al momento de realizar un etiquetado a láser y en acrílico con grosor de 5mm: el soporte horizontal y del láser, debido a que es un material ligero y no produce mayor esfuerzo en cuanto al torque de los motores al momento de que estos estén en uso.

RECOMENDACIONES

- Es indispensable realizar un etiquetado horizontal, debido a que de esta forma toma menos tiempo en realizarse a comparación con un etiquetado vertical, porque requiere menor cantidad de pasos en los motores al momento de su trabajo.
- Las frutas, manzanas verdes, que se utilicen para realizar el etiquetado deben ser frescas, sin golpes, esto ayuda al prototipo a proporcionar un etiquetado definido, visible y más duradero.
- Es indispensable el uso de gafas al momento que el láser este trabajando, esto evita daños al ojo humano, porque el láser emite una luz fuerte al realizar el etiquetado en lugares con poca iluminación, ya que en variadas jornadas de pruebas del prototipo se sintió el efecto de la luz en ojos.
- Es necesario colocar la fruta en la prensa lo más ajustada posible, esto permite que el producto no se mueva al momento del etiquetado a láser logrando un resultado final semejante a la imagen utilizada para la vectorización, Figura 4.3. Es decir, sin distorsión en el etiquetado.

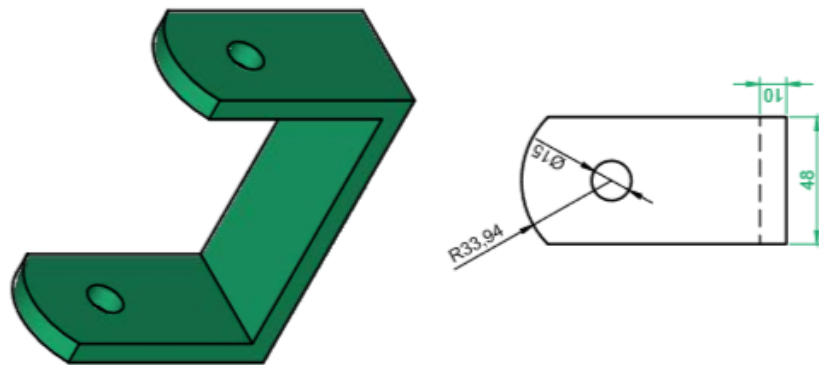
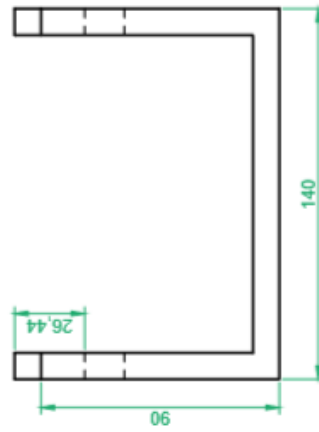
LISTA DE REFERENCIAS

- AliExpress. (2016). *Alta Potencia grabado láser 405nm módulo láser violeta 500 mW/ttl/exterior enfoque*. Obtenido de <https://es.aliexpress.com/item/High-Power-Laser-engraving-405nm-Violet-laser-module-500mW-TTL-outside-focusing/32528799505.html>
- Bang Good. (2017). *Nema 17 42mm 12V Motor Paso a Paso Híbrido de Dos Fases Para Impresora 3D*. Obtenido de https://www.banggood.com/es/Nema-17-42mm-12V-Hybrid-Two-Phase-Stepper-Motor-For-3D-Printer-p-1164619.html?cur_warehouse=CN
- Bosch Rexroth AG. (2007). *Rodamientos Lineales*. Obtenido de <http://www.lineartec.com.ar/catalogos/7RodamientosLinealesBosch.pdf>
- Canto, C. (2018). *Motores de Paso o Steppers Motors*. Obtenido de http://galia.fc.uaslp.mx/~cantocar/microcontroladores/SLIDES_8051_PDF/21_MOTOR.PDF
- Centro de Láseres Pulsados. (2013). *¿Cómo funciona un láser?* Obtenido de <https://www.clpu.es/divulgacion/bits/como-funciona-un-laser>
- COSMOCAX. (14 de Junio de 2007). *¿Qué es el CNC? O control numérico por computadora*. Obtenido de <https://cadcamcae.wordpress.com/2007/06/14/el-control-numericopor-computadora-el-cnc/>
- Cruz, J. S. (8 de Junio de 2016). *Constant Voltage vs. Constant Current Drivers* . Obtenido de <https://blog.1000bulbs.com/home/led-drivers-constant-voltage-vs-constant-current>

- Factor Eléctrico. (30 de Enero de 2014). *¿Qué significa NEMA?* Obtenido de <http://factorelectrico.blogspot.com/2014/01/que-significa-nema.html>
- FRESHPLAZA. (27 de Enero de 2015). *El etiquetado por láser se vuelve más común.* Obtenido de <http://www.freshplaza.es/article/87346/El-etiquetado-por-l%C3%A1ser-se-vuelve-m%C3%A1s-com%C3%BAn>
- Hecht, J. (13 de Febrero de 2018). *Light amplification by stimulated emission of radiation.* Obtenido de <https://www.britannica.com/technology/laser>
- Jecrespom. (2017 de Noviembre de 2017). *Shields para Arduino.* Obtenido de <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2015/03/23/shields-para-arduino/>
- Jesús. (27 de Junio de 2014). *ARDUBASIC.* Obtenido de <https://ardubasic.wordpress.com/2014/06/>
- María Begoña de Pablo, M. M. (Enero de 2016). *Normas de información alimentaria etiquetado y marcado de los productos alimenticios.* Obtenido de http://www.higieneambiental.com/sites/default/files/images/pdf/normas_de_informacion_alimentaria_etiquetado_2016_.pdf
- Platt, C. (2012). Stepper Motor. En *Encyclopedia of Electronic Components Volume 1* (págs. 209-213). Sebastopol: O'Really.
- Ventura, V. (3 de Diciembre de 2014). *¿Qué es G-CODE?* Obtenido de Popularidad.es: <https://polaridad.es/que-es-g-code/>
- Vizcaino. (3 de Abril de 2015). *Mecanismo Tornillo-Tuerca.* Obtenido de <http://ingenierovizcaino.com/tiquiza/operadores%20mecanicos%2089/Mecanismo%20tornillo-tuerca.pdf>

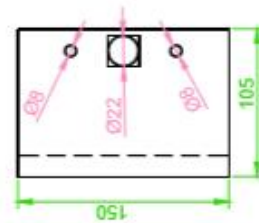
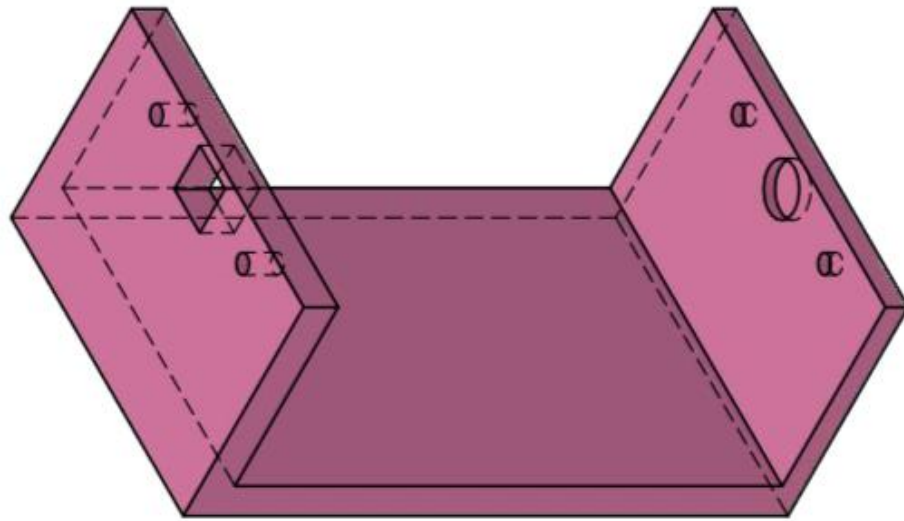
ANEXOS

Anexo 1. Dimensiones del soporte de fruta



Elaborado por: Richard Céspedes y Esther Gaspar

Anexo 2. Dimensiones del soporte del eje X



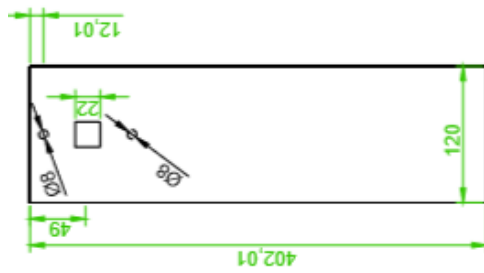
Elaborado por: Richard Céspedes y Esther Gaspar

Anexo 3. Dimensiones del soporte vertical



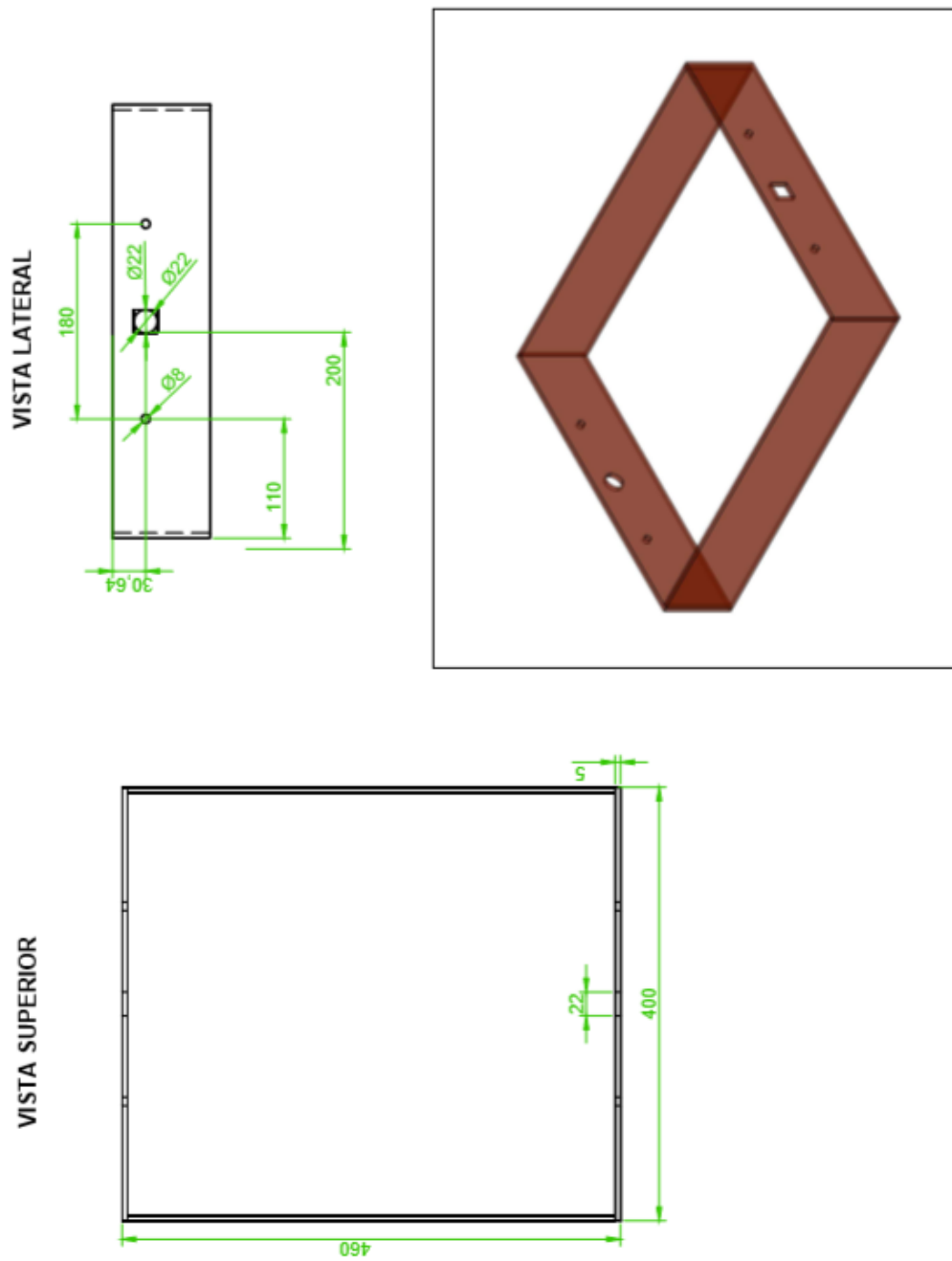
VISTA FRONTAL

VISTA SUPERIOR



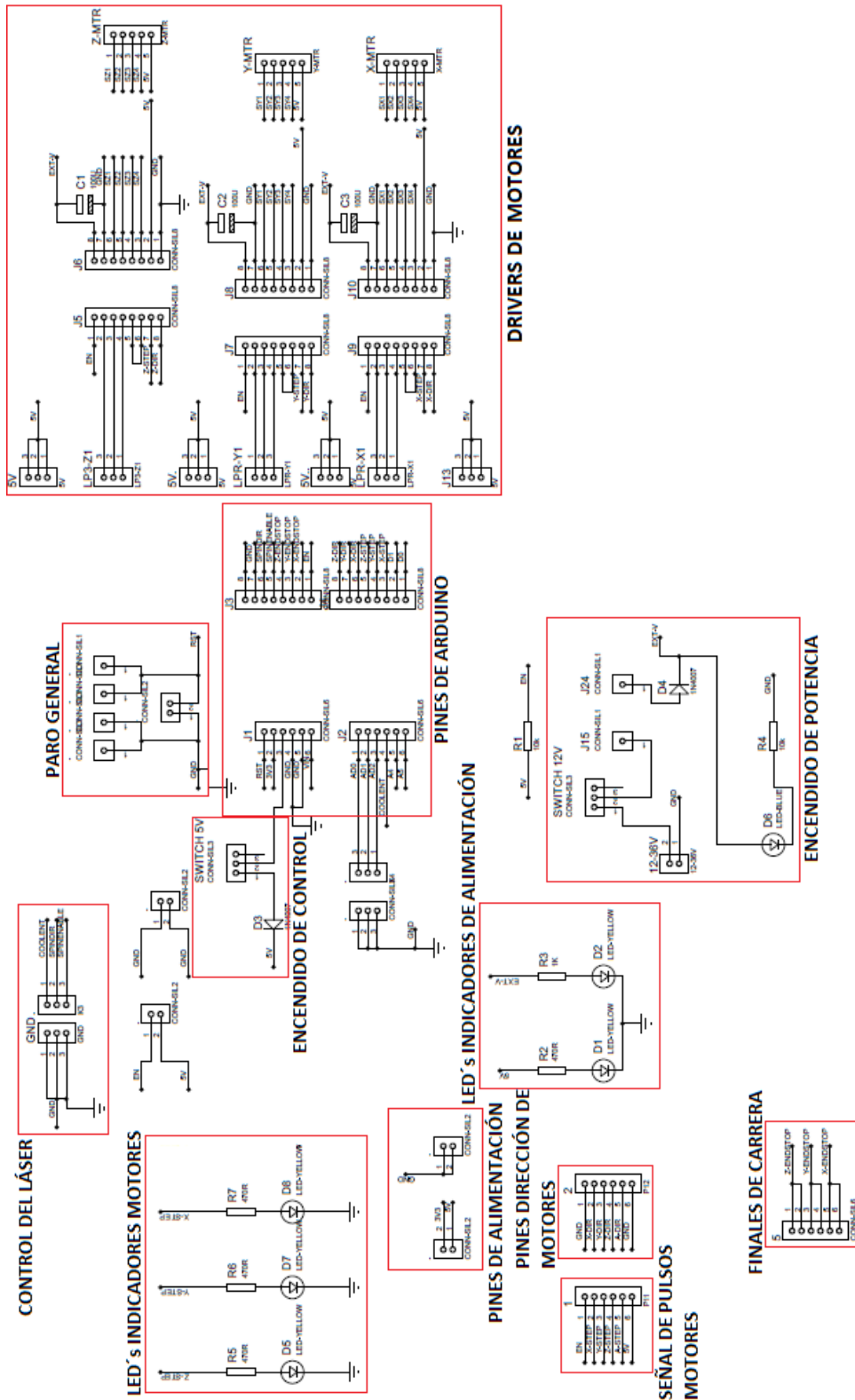
Elaborado por: Richard Céspedes y Esther Gaspar

Anexo 4. Dimensiones del soporte horizontal



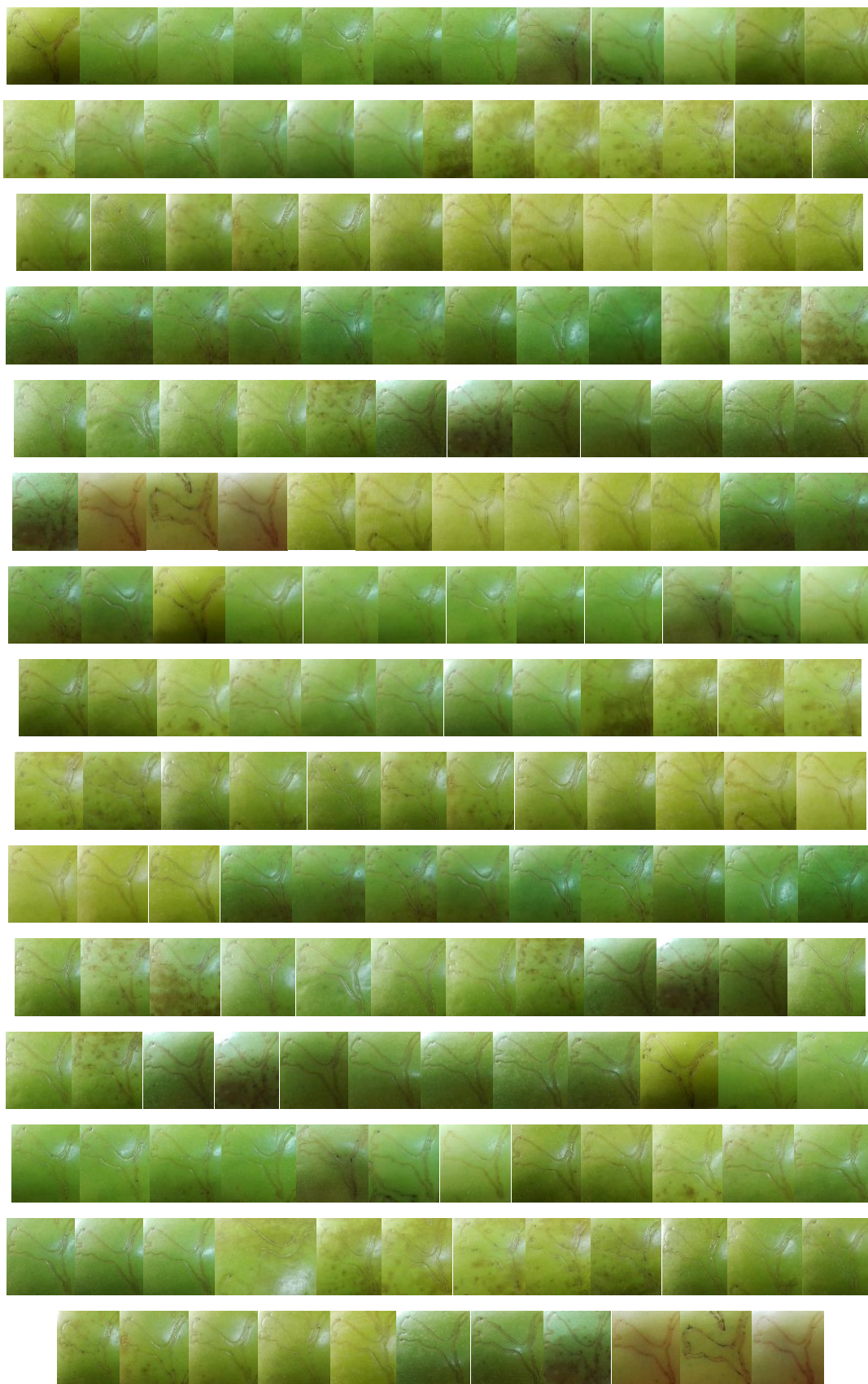
Elaborado por: Richard Céspedes y Esther Gaspar

Anexo 5. Esquema del diseño de la placa CNC Shield



Elaborado por: Richard Céspedes y Esther Gaspar

Anexo 6. Pruebas realizadas con el prototipo a láser, 180.



Elaborado por: Richard Céspedes y Esther Gaspar