



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,
ELECTRÓNICA Y SISTEMAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA EL
PROCESO DE TRANSFERENCIA DE IMAGEN A LA PLACA DE
CIRCUITO IMPRESO CON UN DIODO LASER DE LONGITUD
DE ONDA DE 405 NANÓMETROS, UTILIZANDO LA INTERFAZ
SERIAL DE PERIFÉRICOS (SPI)**

TESIS

PRESENTADA POR:

JOEL HUANCA CHUQUICALLATA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRÓNICO

PUNO – PERÚ

2022



DEDICATORIA

Este trabajo de investigación le dedico principalmente a mi madre Josefa Chuquicallata Yucra, a mi padre y a mis hermanos, que siempre estuvieron presentes en los momentos más críticos y a todos las personas que estuvieron animándome con este trabajo de investigación.

Joel H. Ch.



AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento especial a todos los que estuvieron apoyándome en todo mi formación profesional, a mis familiares, a mis amigos y docentes que compartieron todos sus conocimientos para mi formación profesional.

Joel H. Ch.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN..... 14

ABSTRACT..... 15

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA..... 17

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA 17

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA..... 18

1.2.1. Problemas Específicos 18

1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA 18

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN 19

1.4.1. Objetivo general 19

1.4.2. Objetivos específicos 20

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2. ANTECEDENTES DEL PROYECTO..... 21

2.1. SUSTENTO TEÓRICO 22

2.1.1. Transferencia de imagen al PCB 22

2.1.1.1. Componente electrónico. 23

2.1.1.2. Placa de circuito impreso..... 24

2.1.1.3. Film fotosensible..... 25



2.1.1.4.	Transferencia de imagen por fotograbado.	27
2.1.1.5.	Transferencia Laser Direct Imaging (LDI).	28
2.1.2.	Laser	29
2.1.2.1.	Tipos de láser.	30
2.1.2.2.	Oscilación laser.	32
2.1.3.	Modulación del diodo laser	32
2.1.3.1.	Modulación directa de intensidad.	33
2.1.3.2.	Modulación de pequeña señal.	34
2.1.3.3.	Modulación de código de pulsos.	34
2.1.4.	La luz, ¿Onda o partícula?	35
2.1.4.1.	Partícula.	35
2.1.4.2.	Onda.	35
2.1.4.3.	Características de la longitud de onda de los láseres.	36
2.1.4.3.1.	Aplicaciones del láser de estado sólido.	37
2.1.4.3.2.	Aplicaciones del láser gaseoso.	38
2.1.4.4.	Longitud de onda 10600nm.	38
2.1.4.5.	Longitud de onda 1064 nanómetros.	39
2.1.4.6.	Longitud de onda 532 nanómetros.	39
2.1.4.7.	Longitud de onda 355 nanómetros.	40
2.1.5.	Microcontrolador ARM córtex	41
2.1.5.1.	Tecnología thumb2.	42
2.1.5.2.	Microcontrolador ARM cortex-m3.	43
2.1.5.3.	FreeRTOS.	44
2.1.6.	Interface de comunicación de los microcontroladores	46
2.1.6.1.	Comunicación Serial Síncrona.	47
2.1.6.1.1.	Protocolo i2c.	47
2.1.6.1.2.	Protocolo SPI.	49
2.1.6.2.	Comunicación Serial Asíncrona.	50



2.1.6.2.1. Protocolo rs232.	51
2.1.6.2.2. Protocolo Universal Serial Bus (USB).....	51
2.1.6.3. WinUSB Device.	54
2.1.7. Lenguaje de programación	55
2.1.7.1. Assembler.	55
2.1.7.2. Lenguaje de programación C/C++.....	56
2.1.7.3. Microsoft visual Studio.....	57
2.1.7.3.1. ¿Qué es .NET?	57
2.1.7.3.2. Visual Basic .NET.....	57
2.1.8. Código Gerber.	58
2.1.9. Motores de corriente continua	61
2.1.9.1. Motores de paso a paso.....	61
2.2. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.....	62
2.2.1. Hipótesis general	62
2.2.2. Hipótesis específicas.....	62

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODO

3.1. DISEÑO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN	63
3.1.1. Diseño de investigación.....	63
3.1.2. Nivel de la investigación	63
3.1.3. Tipo de investigación.....	63
3.1.4. Población y muestra de la investigación.....	64
3.1.4.1. Población	64
3.1.4.2. Muestra	64
3.1.5. Ubicación y descripción de la investigación	64
3.1.5.1. Ubicación	64
3.1.5.2. Descripción de la investigación	64
3.1.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	65



3.1.6.1. Instrumentos.....	65
3.1.7. Técnicas de procesamiento de datos.....	66
3.1.7.1. Error.....	66
3.1.7.2. Media de error.....	67
3.1.7.3. Varianza.....	67
3.2. DESARROLLO DEL PROTOTIPO.....	67
3.2.1. Desarrollo del sistema mecánico.....	68
3.2.1.1. Desplazamiento eje Y.....	68
3.2.1.2. Desplazamiento eje X.....	70
3.2.2. Desarrollo del funcionamiento del sistema electrónico.....	71
3.2.2.1. Recursos y lógica de control de rpm eje X.....	71
3.2.2.1.1. Logica de funcionamiento.....	72
3.2.2.2. Recursos y lógica de control para el eje Y.....	75
3.2.2.2.1. Logica de funcionamiento.....	76
3.2.2.3. Circuito de potencia para el diodo laser.....	78
3.2.2.4. Lógica de control y comunicación para el laser.....	79
3.2.3. Programación firmware.....	80
3.2.3.1. Modo y WinUSB Stm32f103c8.....	80
3.2.3.2. Modo y algoritmo SPI con DMA.....	83
3.2.3.2.1. Configuración SPI con DMA.....	85
3.2.4. Programación aplicación.....	86
3.2.4.1. Codificación y procesamiento de datos gerber.....	86
3.2.4.1.1. Función para trazado de línea.....	87
3.2.4.1.2. Función para trazado del círculo.....	88
3.2.4.1.3. Función para trazado del rectángulo.....	90
3.2.4.1.4. Función para trazado del polígono.....	91
3.3. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.....	93
3.3.1. Pruebas de impresión láser al PCB.....	96



3.3.2. Dibujos geométricos para pruebas de parámetros 101

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS	106
4.2. RESULTADOS	107
V. CONCLUSIONES.....	109
VI. RECOMENDACIONES	110
VI. REFERENCIAS	111
ANEXOS.....	115
ANEXO 01	116
ANEXO 02	120

Área: microelectrónica

Tema: electrónica aplicada

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 14 de diciembre de 2022



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Componente electrónico con terminales metálicos en los cuatro lados....	23
Figura 2: Detalles de un PCB	25
Figura 3: Pasos esenciales en la fotorreacción	26
Figura 4: Espectro de absorción	27
Figura 5: Diferentes patrones de difracción para diferentes longitudes de onda.....	27
Figura 6: Métodos para exposición del film foto resistente	28
Figura 7: Diagrama de bloque principales para el LDI	29
Figura 8: Empaquetado de un diodo laser comercial	31
Figura 9: Sección perpendicular del ensamblaje de un diodo laser comercial.....	31
Figura 10: Representación esquemática de un resonador óptico.....	32
Figura 11: Circuito básico de modulación directa.....	33
Figura 12: Longitud de onda 10600nm	38
Figura 13: Entrega de potencia para diferentes pulsos	39
Figura 14: Longitud de onda 532	40
Figura 15: Tasa de absorción para diferentes metales	40
Figura 16: Generación de la tercera armónica por medio de cristales.....	41
Figura 17: Relación entre las tecnologías Thumb y Thumb2.....	43
Figura 18: Posibles estados en la que puede estar un subproceso	46
Figura 19: Señales del dato y clock en el tiempo	47
Figura 20: Comunicación peculiar I2C	48
Figura 21: Interconexión de dispositivos al bus I2C	49
Figura 22: Simple master/simple esclavo aplicación	50
Figura 23: Formato de un bloque de información	51
Figura 24: Parte de un código en Assembler.....	56



Figura 25: Contenido en un archivo Gerber	60
Figura 26: Conexión de boninas internas de un Motor Unipolar	62
Figura 28: Escáner que se utilizara para el desplazamiento eje Y	69
Figura 27: Rieles, motor y engranes reductor.....	69
Figura 29: Mecánica para el desplazamiento eje X.....	70
Figura 30: Haz laser reflejado por el motor con espejos	71
Figura 31: Diagrama de comunicación.....	72
Figura 32: Generador de frecuencias.....	73
Figura 33: Procedimiento apuntado por el vector interrupción	74
Figura 34: Solo utilizaremos un pin analógico para interpretar el KeyPad 4x4.....	75
Figura 35: Desplazamiento eje y	76
Figura 36: Diagrama de flujo.....	77
Figura 37: Configuración TIM4 como PWM.....	78
Figura 38: Driver Tótem pole	79
Figura 39: Paquete de dato recibido por el USB	79
Figura 40: Etapas del prototipo	80
Figura 41: Estructura del dispositivo USB MicroVision.....	81
Figura 42: USB configuración.....	81
Figura 43: Windows Driver Kit.....	82
Figura 44: Configurando Driver	83
Figura 45: Transferencia continua seria	84
Figura 46: Carga de registros con DMA	85
Figura 47: Configuración SPI y DMA	85
Figura 48: Declaración de variables y archivos.....	87
Figura 49: Principio para crear líneas.....	87



Figura 50: Código de la función línea	88
Figura 51: Determinación de todos los puntos para formar un círculo	89
Figura 52: Asignación a memoria	90
Figura 53: Código para el rectángulo	90
Figura 54: Tipos de polígonos	91
Figura 55: Código que determina las dimensiones del rectángulo a utilizar	92
Figura 56: Contenido en memoria	93
Figura 57: Calibración de coordenadas	94
Figura 58: Calibración enfoque del haz laser	94
Figura 59: Constantes que equivalen a 1mm.....	96
Figura 60: Tarjeta electrónica para un chip de 100 pines.....	97
Figura 61: Tarjeta ensamblado para pruebas	98
Figura 62: Diseño con líneas de 5th de ancho	99
Figura 63: Diseño con líneas de 10th de ancho	100
Figura 64: Distintos diámetros de prueba.....	101
Figura 65: Distintas dimensiones de rectángulos	102
Figura 66: Cuadrado de longitud de 80MIL (2 mm) de lado	102
Figura 67: Figuras geométricas del PCB, con una hoja milimétrica	103
Figura 68: Tomando medidas del círculo y del rectángulo	103
Figura 69: 12 pistas de conexión en 3 mm de ancho.....	104
Figura 70: Vista amplificada de las, micro pistas.....	105
Figura 71: Distribución normal	108



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Aplicaciones comunes	53
Tabla 2: Dimensiones de prueba.....	106



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

ac:	Corriente alterna
ARM:	Advanced RISC Machine
CAD:	Diseño Asistido por Computadora
CPU:	Unidad Central de Procesamiento
firmware:	Coporte logico inalterable
fotón:	Particula minima de energia luminosa
LDI:	Laser Direct Image
LED:	Diodo Emisor de Luz
mascara:	Película delgada de alguna sustancia de protección
MCU:	Unidad de Microcontrolador
pads:	Parte metalizada, donde se soldara una pata de un componente
PCBs:	Placa de Circuito Impreso
PFGAs:	Field Programmable Gate Arrays
protoboard:	Tablero de pruebas electronica
UV:	Ultravioleta
XML:	Extensible Markup Language



RESUMEN

Los nuevos circuitos integrados son de dimensiones más pequeñas y requieren de equipos sofisticados para realizar una aplicación. En este proyecto, se realizó, un prototipo capaz de realizar el grabado en una base de capa conductora, los códigos Gerber generados por algún software de diseño de tarjetas electrónicas. El diodo láser será nuestra principal herramienta que deberá ser controlada con la precisión y realizar micro desplazamientos requeridos por los nuevo chip del mercado, este dispositivo semiconductor más notable entre los componentes que lo componen en este proyecto, permite grabar la imagen latente, en una película fotosensible a la radiación electromagnética, con longitud de onda de 405 nanómetros. Esta energía por emisión estimulada, permite realizar pistas de conexión en micrómetros de ancho. El controlador del sistema, es el Microcontrolador de la gama ARM CorteX-M3 de la empresa STMicroelectronics, que es un integrado de alto rendimiento con aplicaciones en los mercados industriales médicos y de consumo. El Microcontrolador con procesador ARM es también el encargado de controlar el diodo láser, esta familia de Microcontroladores de 32bit dispone de una variedad de periféricos de comunicación. La que se mencionará y definirá es la Interface Periférico Serial (SPI), que tiene la capacidad de transferir datos por direccionamiento de memoria directa (DMA), la cual le otorgará transferir datos a elevadas velocidad al diodo láser sin consumir recursos de CPU. En cuanto a la interfaz del software. Se utilizara el entorno de desarrollo integrado de Microsoft Visual Studio instalado en una computadora personal con sistema operativo Windows. Microsoft Visual Studio soporta múltiples lenguajes de programación como: C++, C#, Visual Basic y más. Con este prototipo se puede realizar como mínimo, pistas de conexión de 127 micrómetros de ancho, para componentes electrónicos a nivel de tecnología de montaje superficial, más conocida por sus siglas como SMT.

Palabras Clave: Diodo laser ultravioleta, ARM CORTEX-M3, SPI (Serial Peripheral Interface), PCB (Printed Circuit Board).



ABSTRACT

The new integrated circuits are smaller in size and require sophisticated equipment to perform an application. In this project, a prototype capable of engraving on a conductive layer base, the Gerber codes generated by some electronic card design software, was made. The laser diode will be our main tool that must be controlled with the precision and micro displacements required by the new chip on the market, this most notable semiconductor device among the components that make it up in this project, allows the latent image to be recorded on a photosensitive film to electromagnetic radiation, with a wavelength of 405 nanometers. This energy by stimulated emission allows connection tracks to be made in micrometers wide. The system controller is the Microcontroller of the ARM Cortex-M3 range from the company STMicroelectronics, which is a high-performance integrated with applications in the medical and consumer industrial markets. The Microcontroller with ARM processor is also in charge of controlling the laser diode. This family of 32bit Microcontrollers has a variety of communication peripherals. The one that will be mentioned and defined is the Serial Peripheral Interface (SPI), which has the ability to transfer data by direct memory addressing (DMA), which will allow the laser diode to transfer data at high speeds without consuming CPU resources. Regarding the interface of the software. The Microsoft Visual Studio integrated development environment installed on a personal computer with Windows operating system will be used. Microsoft Visual Studio supports multiple programming languages like: C++, C#, Visual Basic and more. With this prototype, at least 127 micrometers wide connection tracks can be made, for electronic components at the level of surface mounting technology, better known by its acronym SMT.

Palabras Clave: Ultraviolet laser diode ARM CORTEX-M3, SPI (Serial Peripheral Interface), PCB (Printed Circuit Board).



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Los grandes avances tecnológicos en la manufactura del encapsulado de componentes electrónicos para montaje superficial, se está miniaturizándose cada vez más, estos circuitos integrados tienen una alta integración de componentes en un espacio muy reducido. Generándose con ello a la reducción de sus terminales de contacto con las pista de conexión, esto permite grandes simplificaciones y reducción del espacio que ocupa cada componente, en la implementación de tarjetas de circuitos electrónicos. Esta miniaturización de componentes conlleva también a la reducción de sus terminales de contacto con las pistas de conexión. La alternativa en la solución de la dificultad del desarrollo de la tarjeta de circuito electrónico de bajo costo y en un tiempo corto, se emplea en esta tesis la tecnología de transferencia de imagen por laser

El componente más importante que lo compone en este prototipo es un diodo laser, que permite grabar la imagen latente, en una película fotosensible a la radiación electromagnética de longitud de onda de 405 nanómetros que emite este diodo. Esta energía por emisión estimulada, es controlado por un Microcontrolador de la gama ARM CorteX-M3 de la empresa STMicroelectronics, que es un integrado de alto rendimiento con aplicaciones industriales. La señal que transfiere la información de la imagen, al diodo laser, es por medio del periférico serial (SPI), que tiene la capacidad de transferir datos por direccionamiento de memoria directa (DMA), este método permitió realizar anchos de pistas de 128 micrómetros en las tarjetas de circuitos electrónicos las cuales permitirá aliviar las limitaciones al uso de simuladores por ordenador como, protoboard, módulos de electrónica, cuales limitan el uso de la gran variedad de la tecnología existente del mercado.



En el Capítulo I se plantea la situación y los problemas que surgieron por los avances tecnológicos en diseño de tarjetas de circuitos impresos. En este capítulo se mencionara los objetivos que se desarrollaran en la investigación.

En el Capítulo II se presenta los conocimientos y las teorías necesarias para cumplir los objetivos planteados. Se enfocara principalmente en teoría en aplicaciones con láser y microcontroladores.

En el Capítulo III se presenta. Los materiales y equipos utilizados para desarrollar el prototipo, así como los lenguajes de programación utilizados y la lógica de funcionamiento del motor con espejos hexagonal montado.

En el Capítulo IV se presenta los resultados de las comparaciones realizados por el diseño CAD y las muestras realizadas por el prototipo. Como también se verá en detalle las microvias realizadas por el prototipo y el variable tiempo, que limitan en la velocidad de impresión, también se menciona las variables que se tienen que mejorar para poder obtener vías de dimensiones más pequeñas.

PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

El desarrollo de la tecnología ha permitido solucionar muchos problemas, que eran imposible hace unas décadas, solo para mencionar algunas áreas que más se desarrollaron son: telecomunicaciones, automatización industrial y equipos médicos de gran precisión. Para la implementación de un determinado proyecto con tecnología moderna, es utilizar equipos desarrollados que cuenten con esas características modernas, estos equipos normalmente son fabricados por los países del primer mundo y se limitan solo para operar a una determinada funcionabilidad para la cual fue creado. Sin embargo existen muchas aplicaciones distintas que tienen funciones peculiares y personalizadas



para un lugar geográfico como, en el departamento de Puno Perú. Uno de los principales pasos para la implementación de un proyecto electrónico es el diseño de las pistas de conexión de componentes electrónicos que debe de tener la tarjeta electrónica, estas pistas de conexión normalmente son de dimensiones muy pequeñas e imposibles de realizar por los métodos caseros convencionales.

Existen muchos métodos para la impresión de tarjetas electrónicas (PCB), pero estos tienen demasiadas limitaciones que solo se aplican para componentes electrónicos muy antiguos y discretos y no para componentes de elevada escala de integración, contar con un prototipo que no tengan estas limitaciones mencionadas, permitida a la inicialización e investigación con componentes electrónicos modernos como son micro controlares, microprocesadores, FPGAs, memorias flash y muchos componentes electrónicos SMD.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo desarrollar un sistema electrónico de control para el proceso de transferencia de la imagen a la placa de circuito impreso con pistas de conexión de dimensiones en micrómetros con la utilización de un diodo laser de longitud de onda de 405 nanómetros, utilizando la Interfaz Serial de Periféricos (SPI)?.

1.2.1. Problemas Específicos

- ¿Cómo procesar los datos para ser enviados por la Interfaz Serial de Periféricos?
- ¿Qué tipo de sistema electrónico de control para el diodo laser de longitud de onda de 405 nanómetros, se utilizara?
- ¿Qué Microcontrolador soportara la demanda de transferencia de datos por el puerto Serial de Periféricos?



1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Los avances tecnológicos en la manufactura del encapsulado de componentes electrónicos para montaje superficial, se está miniaturizándose cada vez más. Generándose con ello a la reducción de sus terminales de contacto con las pistas de conexión, esto trae problemas en el momento del ensamblaje, principalmente en el diseño de circuito impreso con métodos convencionales de bajo costo, que normalmente emplea técnicas de transferencia de imágenes por calor. Este problema de implementación, ocurre especialmente, en los nuevos sistemas de manufactura de Microcontroladores, que se mejoraron y se incluyeron nuevos periféricos para nuevas aplicaciones. Esta proyección, de circuitos integrados más pequeños, con escala de integraciones elevadas, distanció en el desarrollo de aplicaciones y usos a muchos profesionales interesados en el área. Actualmente muchos laboratorios de aprendizaje en microelectrónica, realizan sus prácticas normalmente en: simulaciones por ordenador, Protoboard, módulos de electrónica, los cuales limitan el uso de la gran variedad de la tecnología existente del mercado, como la tecnología de montaje superficial.

Muchas empresas dedicadas al desarrollo de PCB (Printed Circuit Board) se encuentran no accesible para un lugar determinado, limitando a la adquisición y fabricación de un diseño particular, esto limita a la opción de pedidos a distancia que toma varias semanas de entrega. También en la cantidad mínima de ejemplares establecida por las empresas para un mismo diseño, es también un número grande, para pequeños prototipos de prueba.

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo general

Diseñar e implementar un prototipo electrónico, capaz de imprimir tarjetas electrónicas de montaje superficial (SMT), utilizando un diodo láser ultravioleta controlado por la interfaz serial de periféricos como control.



1.4.2. Objetivos específicos

- Investigar la tecnología del diodo láser ultravioleta y aplicaciones.
- Implementar un prototipo electrónico para imprimir tarjetas electrónicas y conceptos de aplicaciones en control del diodo láser ultravioleta.
- Controlar el diodo láser usando el interfaz Serial de Periféricos (SPI).
- Enviar datos al Microcontrolador ARM CORTEX M3 con un interfaz USB (Universal Serial Bus).



CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

ANTECEDENTES DEL PROYECTO

De la gran variedad de formas de trazado de PCB, la tecnología por: Imagen Directa por Laser, está desplazando a las demás formas de fabricación, como la menciona la *revista de academias de ciencias*; “Laser Direct Imaging of trackc on PCB covered with laser photoresist” (R. BARBUCHA, 2008). Indica que el mercado de equipos electrónicos portables demanda de equipos más pequeños, más ligeros y más confiables. Como respuesta al mercado se diseñaron nuevos circuitos, nombrados CSP (Chip Scale Package). Este nuevo tipo de enfoque en diseño de circuitos, mejora el rendimiento del dispositivo como; el decremento de ruido electromagnético. La forma de transferencia de la imagen al PCB, mencionada en esta revista, utiliza dos carriles como coordenadas cartesianas X-Y para el desplazamiento del cabezal LDI que es controlado por computadora, entonces emitiendo una luz intensa laser a través de una película fotoresistiva y modulando el encendido y el apagado acorde al patrón del circuito eléctrico de obtiene líneas finas por debajo de 100 micrómetros de ancho.

Otros de los estudios de técnicas de transferencia de imágenes a PCB, menciona en la patente “SYSTEM, METHOD AND ARTICLE OF CIRCUIT BOARD UTILIZING A MODE LOCKED LASER AND SCOPHONY OPERATION” (Vernackt, 2003). En la que indica los métodos y aparatos de manufactura que mejoran y proporciona una eficiencia y más precisión del LDI en un fotosensible. Un resumen de la innovación que realizo, describe sobre el LDI. Más específicamente de un método y aparatos que se incluyen. Un motor laser cerrado, usando laser ultravioleta en espejos montados, en tambores giratorios de alta velocidad para proyectar una imagen en la superficie del



fotosensible. El principio se basa en reemplazar el desplazamiento de una coordenada por medio de un tambor giratorio de alta velocidad, donde un valor absoluto de posición de dicha coordenada es controlado por la velocidad angular y el tiempo, cada vez que se detecta el cambio del espejo montados en forma de polígono.

En la publicación: Ciencia Aplicada de la Superficie, utiliza un haz laser de alrededor de 10 Watt de potencia enviados en pulsos que van desde nanosegundos a microsegundo de duración y a frecuencias desde los 10 a 200 kHz. Con esta técnica se obtiene una mejora significativa en desarrollar diversas aplicaciones micros electrónicos de tarjeta de circuito impreso (PCB) del circuito micro electrónico, esto permite una rápida transferencia del diseño esquemático a un prototipo operacional. El mayor interés en el que se enfoca la publicación es determinar los parámetros que maximice la velocidad de fabricación por láser mientras se mantiene la calidad. La calidad en la fabricación de la tarjeta micro electrónico es notablemente determinada por los bordes de las líneas o pistas que conectan los componentes micro electrónicos, las cuales son notablemente afectados por la duración del pulso y potencia del haz laser. Uno de los principales parámetros, es la velocidad en el que viaja el has laser sobre la superficie conductora que vaporiza a una profundidad igual a la profundidad de la capa conductora, a esta se le denominada velocidad umbral. Para una eficiente velocidad umbral, apropiados parámetros de laser estructuración y sus influencias deben de ser conocidos en avanzado.

2.1. SUSTENTO TEÓRICO

2.1.1. *Transferencia de imagen al PCB*

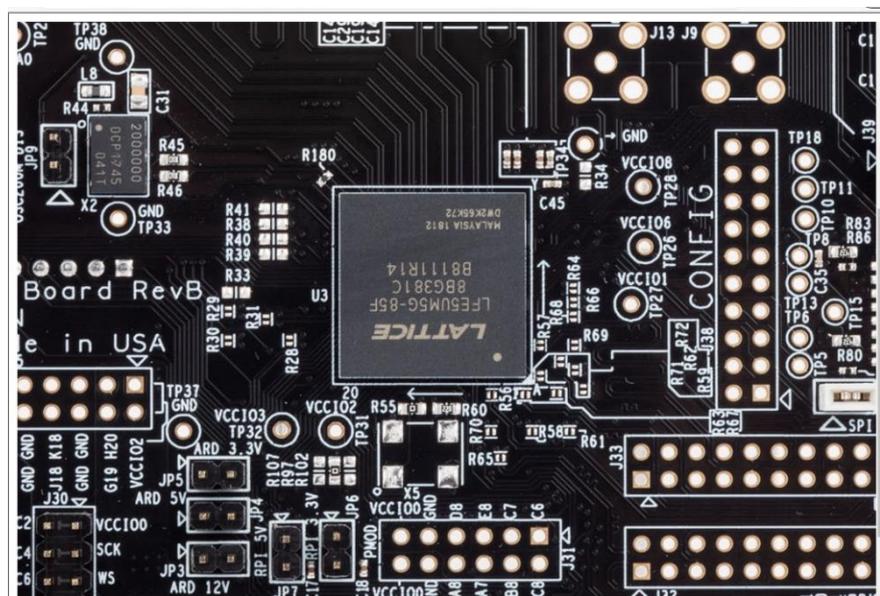
Para la creación de productos modernos que tienen funciones especiales, necesariamente tendrán que contener componentes Micro electrónicos de diferentes propósitos que están interconectados por un medio físico, que comúnmente es utilizado

es el cobre, estas interconexiones son como pistas por las cuales circulan la corriente y un nivel de voltaje necesaria para poder ser interpretada como una señal de información, entonces el componente micro electrónico recibida dicha información para luego ser procesada. Existen muchos métodos que permiten grabar el diseño electrónico a la placa electrónica, entre uno de ellos es el fotograbado que consiste en pasar el diseño electrónico por medio unas lámparas de *luz ultra violeta* (UV), para un mejor entendimiento necesitamos saber algunos conceptos necesarios.

2.1.1.1. Componente electrónico.

Son dispositivo construido con materiales semiconductores como el Silicio, Germanio, Arseniuro de Galio, Etc. y no semiconductores, las cuales se encuentran encapsulados, generalmente en un material cerámico, plástico o metálico, que tiene dos o más terminales metálicas de salida para la interconexión con otros componentes.

Figura 1: Componente electrónico con terminales metálicos en los cuatro lados



Fuente 1: (LATTICE SEMICONDUCTOR, 2021)

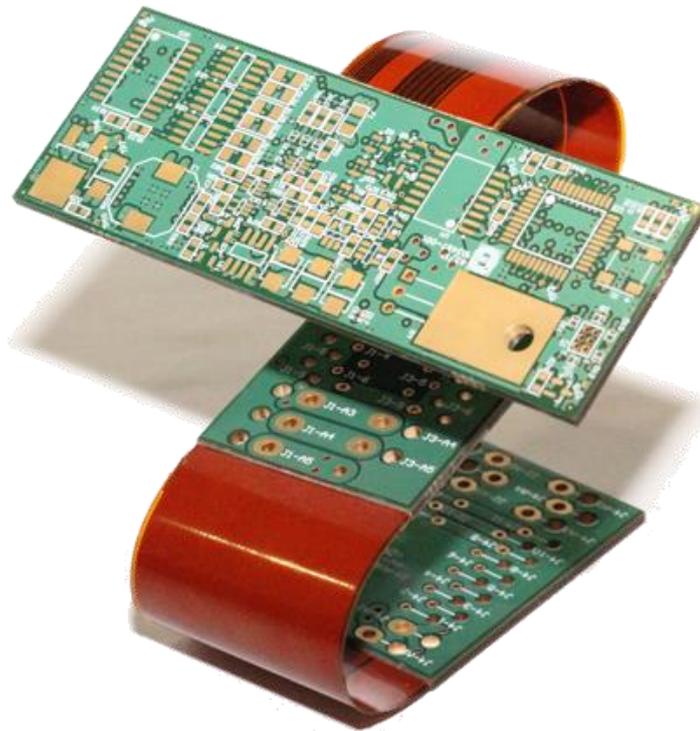


El componente electrónico principal lo compone el circuito integrado, también conocido como chip o microchip como se muestra en la figura 1. Está a su vez se clasifica por el número de transistores colocados en un chip desde el pequeño nivel SSI(Small Scale Integración) de 10 a 1000 transistores hasta más de un millón de transistores GLSI (Giga Large Scale Integración). En cuanto a sus funciones integradas, los circuitos se clasifican en dos grandes grupos: circuitos integrados analógicos y circuitos integrados digitales.

2.1.1.2. Placa de circuito impreso.

Es una superficie compuesto por varias capas laminadas por un material conductor sobre una base no conductora, esta superficie sirve como soporte y conectar eléctricamente por las pistas conductoras, y sostener mecánicamente, por medio de la base, a un conjunto de componentes electrónicos como se muestra en la figura 2, el material utilizado como conductor es normalmente de cobre y es donde se graba el enrutamiento de conexiones, previamente diseñado por algún Software de automatización de diseño electrónico (EDA). La complejidad de la aplicación puede llegar a utilizar más de dieciséis capas conductoras conectadas por medio de orificios, llamados vías.

Figura 2: Detalles de un PCB



Fuente 2: (Altium DESIGNER, 2022)

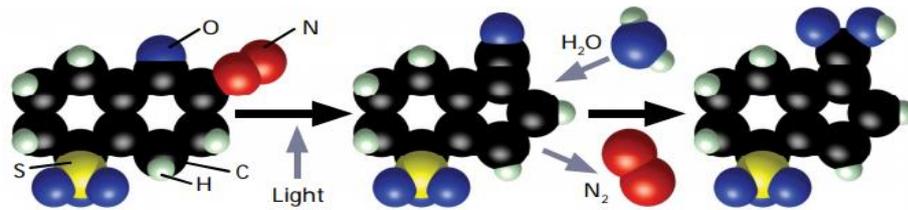
2.1.1.3. Film fotosensible.

Es una película seca fotosensible compuesto por un material foto-polímero, para grabado de circuitos impresos con resistencia a los químicos, como: cloruro férrico, per sulfato de sodio, ácido clorhídrico y otros. Capaz de reproducir fielmente el diseño de pistas y PADS de un circuito (MICROChemicals, 2022). En la figura 3 muestra los pasos esenciales para la fotorreacción por la exposición de una fuente de energía a una longitud de onda determinad, cuando el material sensible es expuesto, dos casos puede ocurrir:

- El material sensible se degradada, y el revelador disolverá las regiones que fueron expuestas a la fuente de energía, dejando una capa conde se colocó la máscara.

- El material sensible se refuerza, y el revelador disolverá solo las regiones que no fueron expuestas a la fuente de energía, dejando una capa donde no se colocó la máscara.

Figura 3: Pasos esenciales en la fotorreacción

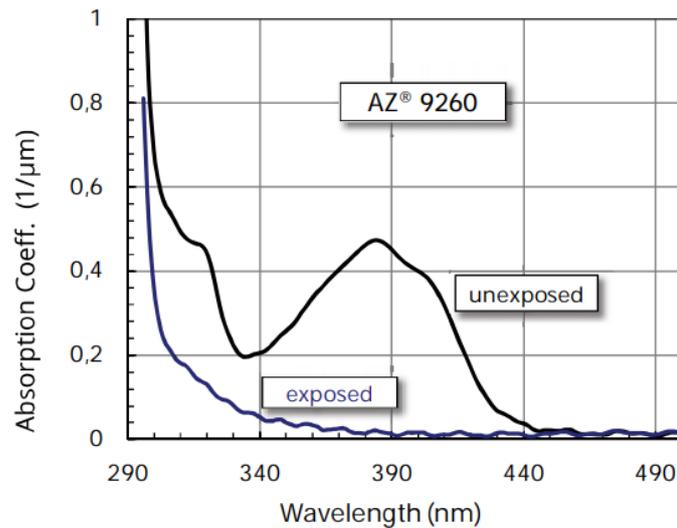


Fuente 3: (MICROChemicals, 2022, pág. 1)

Para la correcta determinación del tiempo de exposición, es determinado por la ficha de datos técnicos, los siguientes datos deben de ser conocidos:

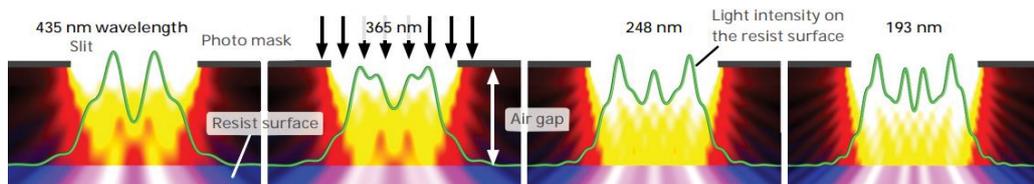
- La potencia de la fuente de energía, la cual determinara el tiempo de exposición por área.
- La longitud de onda de la fuente de energía, determina el coeficiente de absorción del material sensible, que disminuye notablemente el tiempo de exposición por área. En la figura 4 se muestra el espectro de absorción para las diferentes longitudes de onda y en la figura 5 la distribución intensa de luz de diferentes exposiciones de longitudes de onda.

Figura 4: Espectro de absorción



Fuente 4: (MICROChemicals, 2022, pág. 5)

Figura 5: Diferentes patrones de difracción para diferentes longitudes de onda



Fuente 5: (MICROChemicals, 2022, pág. 9)

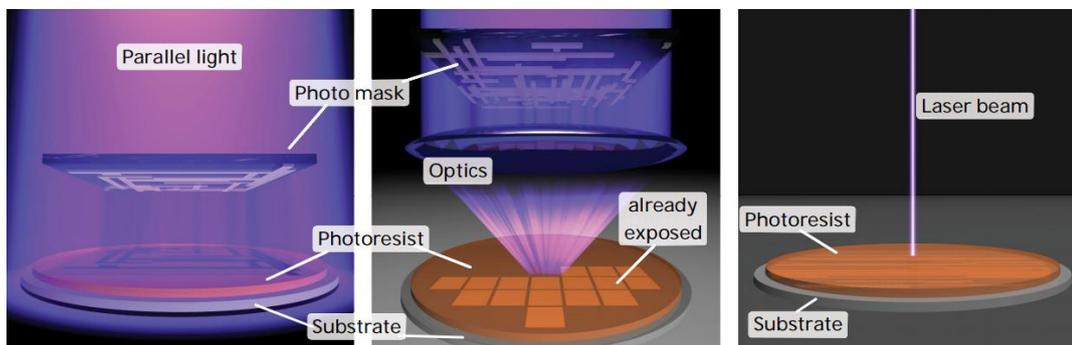
2.1.1.4. Transferencia de imagen por fotograbado.

Es la más utilizada por las industrias en el diseño de PCBs, con este método se obtienen diseños profesionales, con pistas de hasta cinco milésimas de pulgada, el elemento que hace posible a utilizar este método es la film fotosensible a la luz ultravioleta, esta película es impregnada en la placa de circuito virgen por medio de unos rodillos que permiten adherir y eliminar cualquier impureza atrapada, para luego ser expuesto a través de un fotolito que contiene el diseño de circuito impreso, a una fuente de luz ultravioleta homogénea, a este proceso es común mente llamado insolación que tiene una duración acorde a la potencia de la luz de dos a diez segundos.

2.1.1.5. Transferencia Laser Direct Imaging (LDI).

Es la nueva tendencia industrial que está desplazando a la transferencia de imagen por fotograbado donde el fotolito que se utiliza, es eliminado por completo, simplificando el proceso de transferencia de la imagen al PCB con ello también se eliminan los problemas de alineación, los problemas de refracción de la luz y las imperfecciones relacionadas con el medio ambiente, la fuente de luz utilizada para la insolación también es reemplazada por un láser controlado por computadora para insolar la imagen sobre el film seco que cubre el panel, en la figura 6 se muestra los dos principales métodos de transferencia de imagen, con la transferencia LDI, las nuevas modificaciones en el diseño electrónico son también fáciles de modificar con solo cargar el nuevo archivo de diseño, al contrario con el enfoque tradicional que necesita crear otro fotolito perdiendo tiempo y dinero.

Figura 6: Métodos para exposición del film foto resistente

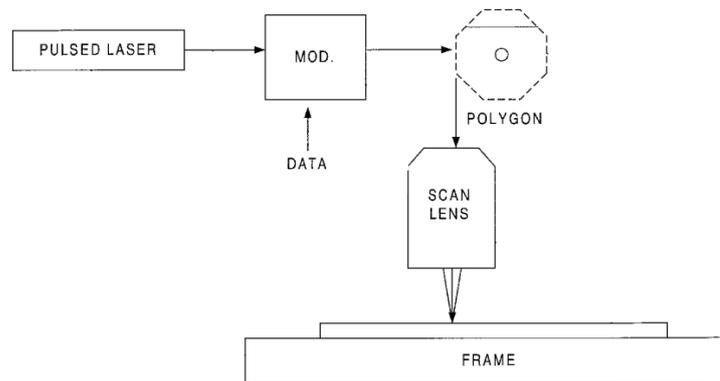


Fuente 6: (MICROChemicals, 2022, pág. 2)

Para nuestro prototipo, utilizaremos el método LDI que está siendo utilizada cada vez más por la industria de PCBs, el mercado electrónico exige más pequeños, ligeros y más confiables dispositivos portables electrónicos, como resultado exige el diseño de grabado más precisos, anchos de pistas más delgadas. Para el desplazamiento de haz láser por toda la superficie, se utiliza comúnmente por desplazamiento lineal en las

coordenadas X-Y de la superficie a grabar, la otra forma más eficiente es utilizar espejos montados en un tambor giratorio de alta velocidad, donde un valor absoluto de posición de dicha coordenada es controlada por velocidad angular y el tiempo, cada vez que se detecta el cambio de los espejos montados en forma de polígono como se muestra en la figura 7.

Figura 7: Diagrama de bloque principales para el LDI



Fuente 7: (Vernackt, 2003, pág. 13)

2.1.2. *Laser*

Su principio de basa en la liberación de energía de los electrones que pasan del nivel superior a uno inferior idéntico a la fuente que lo indujo conocido como fotón, esta energía estimulada además de ser idéntico al fotón que lo indujo estará en fase alineada para luego ser amplificada.

La palabra láser es un acrónimo que significa *Luz amplificada por emisión estimulada de radiación (Light Amplified by Stimulated Emission of Radiation)*.

Un láser es básicamente una fuente de luz. Lo que diferencia a un láser de otras fuentes de luz, como las bombillas, es el mecanismo físico por el que se produce la emisión de luz, que se basa en la emisión estimulada, en contra de la emisión espontánea que es la responsable de la mayor parte de la luz que vemos. Para entender lo que es la emisión espontánea y la emisión estimulada hay que conocer



un poco la física de la interacción de átomos con fotones. Tan solo diremos aquí que este particular mecanismo de emisión confiere a la luz unas propiedades muy interesantes, como son la alta potencia (y su capacidad para ser amplificada), la direccionalidad (emisión en forma de "rayos"), la frecuencia de emisión bien definida (color de la luz), la capacidad de emitirse en pulsos de muy corta duración, y una propiedad llamada coherencia que significa que las onda electromagnéticas que forma el haz de luz *marchan* "al paso". Se incluye el estudio del funcionamiento de una cavidad resonadora lineal. (Pottiez, Gomez Vieyra, & Ibarra Villalón, 2018, pág. 100).

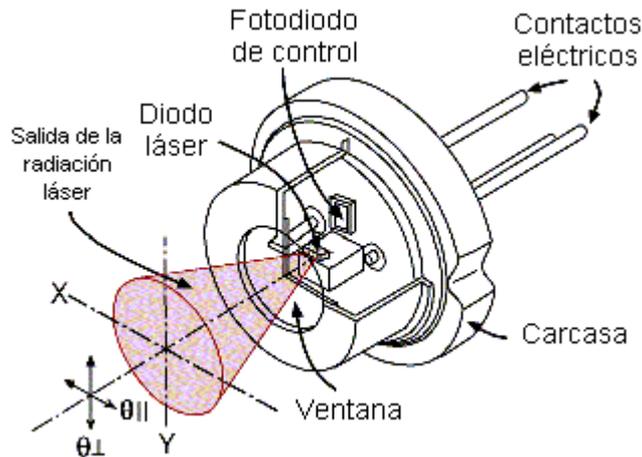
2.1.2.1. Tipos de láser.

Se dividen en cuatro grandes grupos:

- *Los de estado sólido.* El medio activo donde ocurre la ganancia tiene un material solido (cristal o vidrio) domado con una pequeña proporción de iones que emiten la radiación laser. El material base puede tener diferentes formas: cilindro, prisma, disco, etc. (Alonso Fernandez, Borrego Varillas, Hernandez Garcia, Perez Hernandez, & Romero Vazquez, 2010, pág. 58)
- *Los de gas.* El medio activo es una mezcla de gases, debido a que sus partículas tienen libertad de movimiento, suele aplicarse una descarga eléctrica para lograr la inversión de población de las partículas. (Alonso Fernandez, Borrego Varillas, Hernandez Garcia, Perez Hernandez, & Romero Vazquez, 2010, pág. 53).
- Láseres de semiconductor. O diodo laser El medio activo lo constituye un material semiconductor que tiene dos lámina delgada con una totalmente reflectante y la otra solo reflectante de forma parcial, donde las

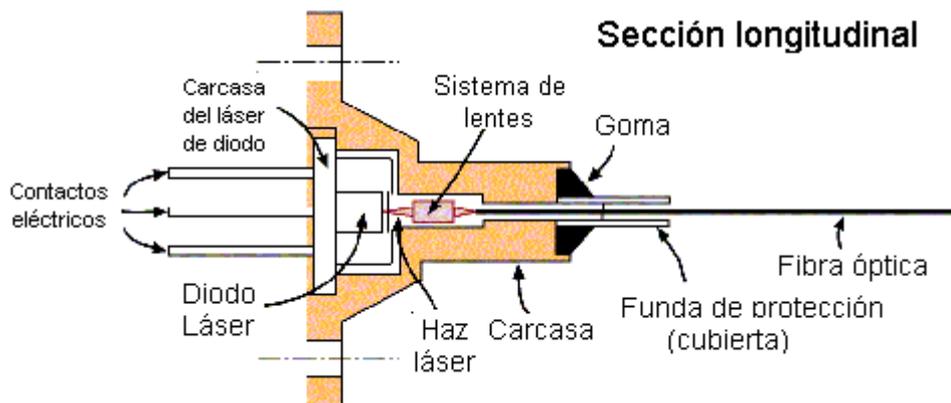
dimensiones de la unión guardan una estrecha relación con la longitud de onda a emitir, la figura 8 y figura 9 muestra el empaquetado habitual del diodo laser. (Sanz & Manzanares, 1991, pág. 1).

Figura 8: Empaquetado de un diodo laser comercial



Fuente 8: (DeHaven & Arieli, 2022)

Figura 9: Sección perpendicular del ensamblaje de un diodo laser comercial



Fuente 9: (DeHaven & Arieli, 2022)

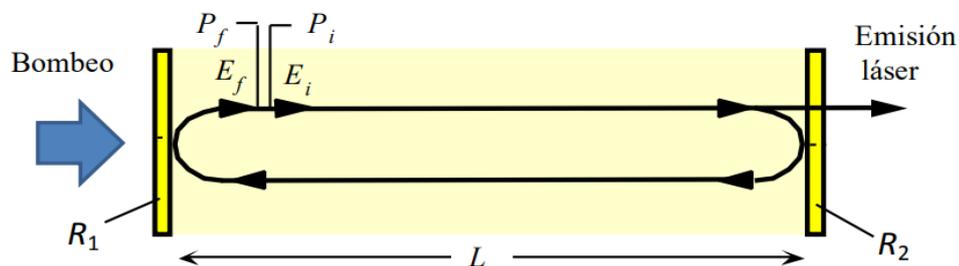
- Laser líquido. Ampliamente utilizado para proyectar diferentes colores con una sola fuente laser de 430 nanómetros de longitud de onda, es ampliamente utilizado en medicina.

2.1.2.2. Oscilación laser.

Aparte de la emisión estimulada y la inversión de población, se necesita la realimentación para lograr la amplificación del haz laser. Esta realimentación se consigue con confinar el medio de ganancia en un resonador óptico que consiste en dos espejos que reflejan total o parcialmente la luz a las longitudes de onda de trabajo.

En el caso de una cavidad como la que se muestra en la figura 10.

Figura 10: Representación esquemática de un resonador óptico



Fuente 10: (Mendivil Varas, 2015)

La figura 10 muestra un resonador de longitud L , los espejos de entrada y salida R_1 y R_2 respectivamente, la potencia y energía inicial que ingresa P_i y E_i y potencia y energía final de emisión P_f , E_f .

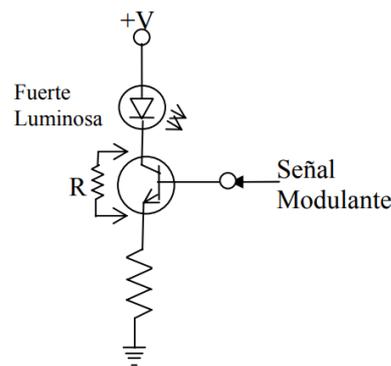
2.1.3. Modulación del diodo laser

Es una condición necesaria para que el diodo laser entre en modo de operación para un determinado propósito. Las diferentes formas de modulación es determinado por la aplicación que realizada el láser, como para comunicación, corte, grabado, etc. Normalmente está compuesto por dos tipos de señal: la portadora que normalmente es modificado en algunos de sus parámetros por algún tipo de señal, llamada moduladora (WIKIPEDIA, 2022).

2.1.3.1. Modulación directa de intensidad.

Es la más utilizada en la industria de grabado por láser, donde la potencia óptica que entrega es determinada por la variación de la corriente de operación, básicamente es encender y apagar el diodo laser, esta técnica tiene como desventaja en entregar menor intensidad de luz láser en altas frecuencia. Estas variaciones es conocida como dispersión de pulsos gaussianos (Chirp) causados por la variación de la frecuencia y por la propiedades físicas de láser, la siguiente figura 11 muestra una circuito básico de modulación directa.

Figura 11: Circuito básico de modulación directa



Fuente 11: (Jiménez Peñaloza, 2005, pág. 53)

En este tipo de modulación el láser es puesto a ON y a OFF. Es decir, la corriente pasa de estar por encima del valor umbral a estar por debajo del valor umbral. Este tipo de modulación se puede utilizar para interconexiones ópticas o para algunas aplicaciones lógicas. La respuesta del láser es bastante lenta con esta modulación ($\sim 10\text{ns}$). La modulación de señal directa de intensidad no se utiliza para comunicaciones ópticas debido a la respuesta tan lenta y debido a la anchura espectral de la salida. De hecho la respuesta en gran señal de un láser no es mucho mejor que la de un LED. (Sanchis & B. Ejea, 2008, pág. 15)



2.1.3.2. Modulación de pequeña señal.

En modulación de pequeña señal, el láser está polarizado en un punto por encima del valor umbral y se le aplica una pequeña señal ac. Este método presenta la mayor respuesta en frecuencia pudiéndose alcanzar anchos de banda de hasta 50GHz. (Sanchis & B. Ejea, 2008, pág. 15)

2.1.3.3. Modulación de código de pulsos.

Esta técnica de modulación es la más utilizada en las comunicaciones ópticas actuales. Es un híbrido entre la modulación de gran señal y la de pequeña señal. El láser está polarizado por encima de su valor umbral y se le aplican pulsos de corriente (o tensión) de forma que la corriente va de un valor superior a otro inferior. Pero siempre incluso en el estado bajo está por encima del valor umbral. Con este tipo de modulación se alcanzan anchos de banda de hasta 10GHz. La respuesta general a los distintos métodos de modulación depende de factores intrínsecos y extrínsecos del láser. Los límites extrínsecos son varios. Una restricción importante es el sobrecalentamiento del láser, debido a las altas corrientes de polarización. Estas altas corrientes son necesarias para poder hacer funcionar el láser a altas velocidades. El sobrecalentamiento produce un deterioro de los parámetros del dispositivo como la ganancia, corriente umbral, etc. Otro aspecto importante en la polarización de láseres a alta potencia es la degeneración *catastrófica* que se produce si se dañan los espejos. Esto destruye el láser al estropearse los espejos de la cavidad. Por tanto el láser tiene un límite superior de inyección, hasta el cual puede operar con seguridad y por encima del cual se destruye el láser. (Sanchis & B. Ejea, 2008)



2.1.4. *La luz, ¿Onda o partícula?*

Para entender el comportamiento de la luz, necesitamos información de la ciencia que estudia su comportamiento, la física cuántica es la ciencia que estudia desde la rama atómica hasta subatómica en la que indica que la luz se comporta como onda: tienen frecuencia, longitud de onda y velocidad de propagación; como partícula: tiene energía y momento lineal.

2.1.4.1. Partícula.

Una partícula se puede situar, en un momento dado, en una posición determinada. Una pelota, por ejemplo, está siempre en una posición bien definida. Yo le puedo dar una patada y entonces haré que se desplace, pero en cada instante de tiempo está claro que la pelota ocupará un único lugar en el espacio, comúnmente las partículas tienen una cierta masa, también cuando dos partículas chocan cambian la dirección de su movimiento y la velocidad. (Fuentes Fernández, 2015, pág. 15)

2.1.4.2. Onda.

Lo que sucede en una onda, es la propagación; por ejemplo, si arrojo una piedra a un estanque, se generará una onda que se propaga por todo el estanque en todas las direcciones. El sonido es otro buen ejemplo, se propaga en las tres dimensiones del espacio, la onda solo transporta energía de un lugar a otro, cuando se encuentran dos o más ondas no cambian la dirección ni la velocidad, sino que continúan su camino superponiéndose la una sobre la otra. Este fenómeno se llama interferencia. (Fuentes Fernández, 2015, pág. 16)

2.1.4.3. Características de la longitud de onda de los láseres.

Para entender el comportamiento y las aplicaciones del láser, necesariamente necesitamos entender ciertas variables, tales como, frecuencia, longitud de onda, periodo, energía y velocidad. Se mencionan los conceptos básicos para cada variable.

- Periodo (T): Es el tiempo comprendido entre dos valores máximos (entre dos crestas), su unidad es el segundo.
- Ciclo: Es el recorrido que hace una partícula durante un periodo.
- Frecuencia (f): es el número de ciclos que se genera durante una unidad de tiempo (seg), su unidad es el Hertz, también podemos decir que la frecuencia es $f = 1/T$ la inversa del periodo de dicha onda.
- Longitud de Onda (λ): Es el espacio recorrido durante un ciclo o en un periodo, se expresa en metros. En una onda sinusoidal de frecuencia f y periodo T, la longitud de onda viene dada por la expresión:

$$\lambda = \frac{v}{f} = v * T$$

- Amplitud: Es el valor máximo que toma en el sentido positivo o negativo de la onda.
- Velocidad: Nos referimos a la velocidad con que se desplazan las ondas, ésta depende del medio por el que se propague (por donde viaja). si la onda viaja por el vacío su velocidad es igual a la de la luz 300.000 Km/segundo. Si se propaga por el aire cambia, pero es prácticamente igual a la del vacío.
- Energía: Una de las características importantes de una onda electromagnética es que puede transportar energía de un punto a otro. En 1900, Max Planck afirmó que la radiación era emitida en forma de cuantos,



paquetes de energía de frecuencia determinada, a los que Einstein llamó fotones, y la energía de un cuanto (fotón) está dada por:

$$E = h * f(\text{julios})$$

Donde h es la constante de Planck, de valor $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$, y f

La frecuencia de la radiación. En esta observamos que la energía que puede transportar una OEM depende de la frecuencia que tiene la onda.

2.1.4.3.1. Aplicaciones del láser de estado sólido.

- Longitud de onda 1064 nanómetros (YAG). Utilizado en aplicaciones universales de marcado. (Keyence, 2011, pág. 3).
- Longitud de onda 532 nanómetros (YAG). Ampliamente utilizado para marcado fino y procesamiento como obleas de silicona, plásticos y metales refractivos. (Keyence, 2011, pág. 3).
- Longitud de onda 355 nanómetros (YAG). Utilizado para micro procesamiento, reparación de LCD, y también para marcado de plástico y metales refractivos. (Keyence, 2011, pág. 3).
- Longitud de onda de 1064 nanómetros (YVO). Utilizado para aplicaciones que requieren un pico alto de energía de haz extremadamente estable. (Keyence, 2011, pág. 3).
- Longitud de onda de 1090 nanómetros (Yb). Alta potencia promedio y excelente eficiencia de enfriamiento. Bueno para el marcado sobre metales y plástico. (Keyence, 2011, pág. 3).

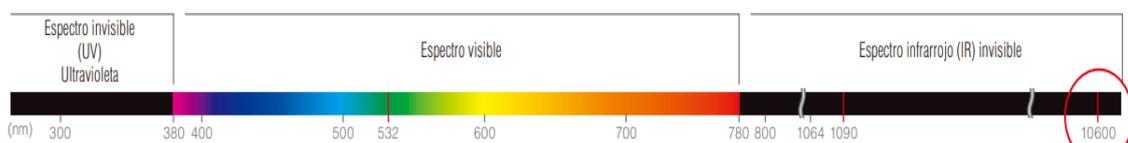
2.1.4.3.2. Aplicaciones del láser gaseoso.

- Longitud de onda de 10.6 micrómetros (Co₂). Ampliamente utilizado para marcado de etiquetas, grabado de plástico, resinas y corte. (Keyence, 2011, pág. 3).
- Longitud de onda de 630 nanómetros (He-Ne). Se encuentra en dispositivos de medición. (Keyence, 2011, pág. 3).
- Longitud de onda de 193 nanómetros (Excímero). Utiliza una combinación de gas inerte y gas de hidrogeno para crear una longitud de onda ultravioleta más corta. Utilizado comúnmente en aplicaciones científicas e investigación relacionada a la biomedicina. (Keyence, 2011, pág. 3).
- Longitud de onda de 488 a 514 (Argon). Utilizado en biomedicina. (Keyence, 2011, pág. 3).

2.1.4.4. Longitud de onda 10600nm.

Es la longitud de onda más larga producidos por la industria de los laser como se muestra en la figura 12, producido con Co₂. Como su nombre lo indica, genera un medio a través de la estimulación de del gas Co₂.

Figura 12: Longitud de onda 10600nm

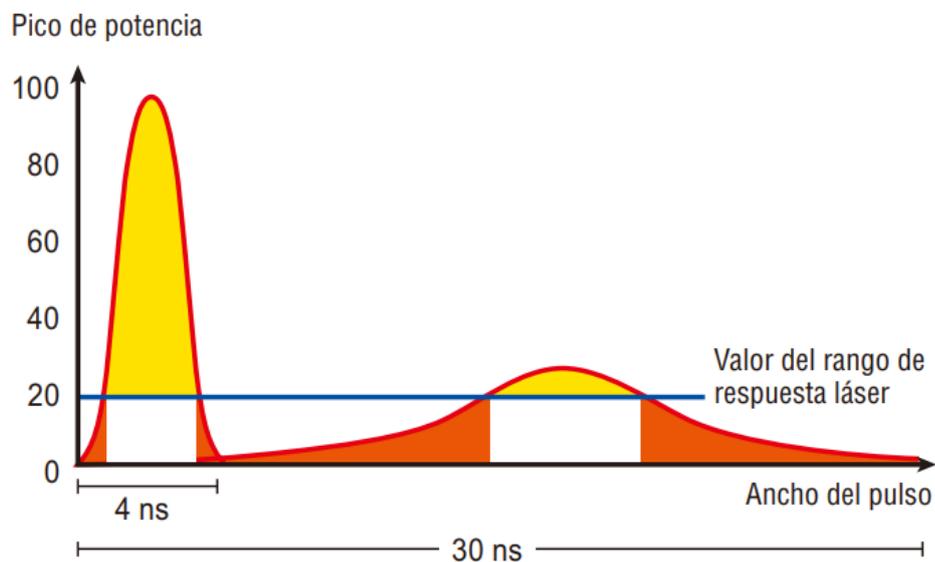


Fuente 12: (Keyence, 2011, pág. 3)

2.1.4.5. Longitud de onda 1064 nanómetros.

Es la longitud más utilizada para procesamiento laser de estado sólido, desde el procesamiento de resinas hasta los metales. No puede procesar objetos transparentes como el cristal, ya que el láser pasa a través de los mismos. Su funcionamiento es en modo pulsado por la alta entrega de energía de forma momentánea, lo cual reduce el daño por calor y quemaduras. Como se muestra en la siguiente figura 13.

Figura 13: Entrega de potencia para diferentes pulsos

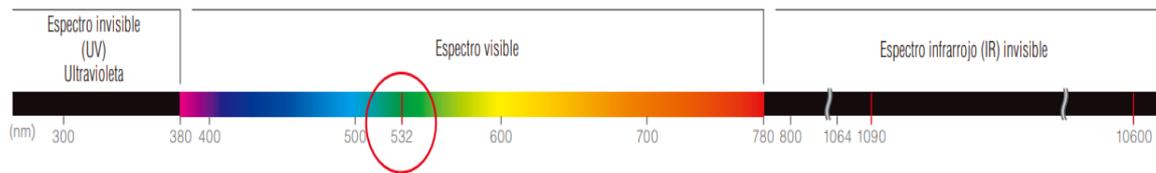


Fuente 13: (Keyence, 2011, pág. 4).

2.1.4.6. Longitud de onda 532 nanómetros.

Es creado por la generación del segundo armónico (SHG), utiliza una longitud de onda igual a la mitad de la longitud típica de 1064 nm. La de 532 nm cae en el espectro visible como se muestra en la figura 14 y es de color verde. Esta longitud de onda se produce mediante la transmisión de una onda de 1064 nm a través de un cristal no lineal que la reduce a la mitad. Normalmente se utiliza un medio YVO4, porque las características de su haz son muy adecuadas para procesamientos complejos (Keyence, 2011).

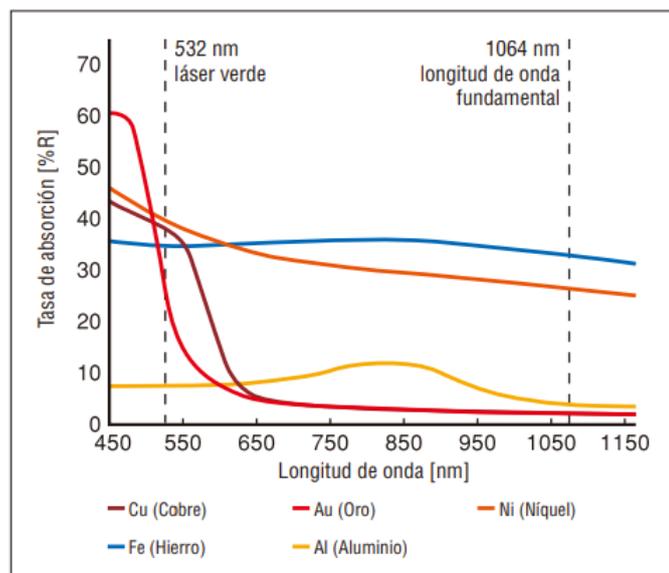
Figura 14: Longitud de onda 532



Fuente 14: (Keyence, 2011, pág. 4).

Tienen altas tasa de absorción en materiales que no reaccionan bien con longitudes de onda IR típicas y aquellas que reflejan la luz infrarroja, como el oro y el cobre, en la figura 15 se muestra la tasa de absorción laser de los metales.

Figura 15: Tasa de absorción para diferentes metales



Tasa de absorción láser de los metales

Fuente 15: (Keyence, 2011, pág. 4).

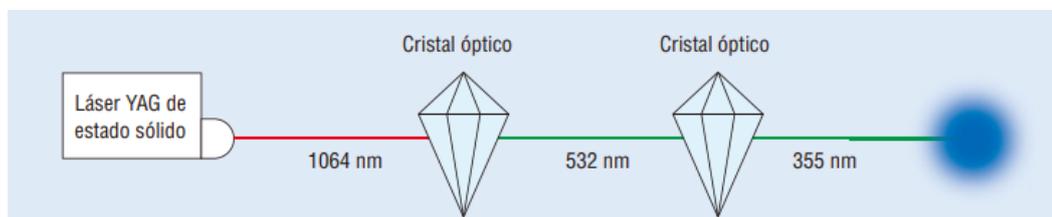
2.1.4.7. Longitud de onda 355 nanómetros.

La generación de tercera armónica (THG) utiliza una longitud de onda que es igual a un tercio de la longitud típica de 1064 nanómetros y cae en el rango ultravioleta (UV) de la luz como se muestra en la figura 16. Se utiliza un láser YVO4 o un YAG para generar una longitud de onda básica, que se transfiere primero a través de un cristal no

lineal para reducir su longitud de onda a 532 nanómetros, y luego por un segundo cristal no lineal para reducirla a 355 nanómetros (Keyence, 2011).

La luz UV presenta índices de absorción muy altos para la mayoría de los materiales y no origina cantidades excesivas de calor tiene un punto de luz muy pequeño que hace posible un procesamiento de gran definición y su alto índice de absorción afecta también al cristal óptico, lo que ocasiona costos de consumo mayores que para las otras longitudes de onda (Keyence, 2011).

Figura 16: Generación de la tercera armónica por medio de cristales



Fuente 16: (Keyence, 2011, pág. 4)

2.1.5. *Microcontrolador ARM córtex*

Uno de los componentes indispensables que lleva todo equipo electrónico es un circuito integrado programable que opera a velocidades muy altas que van de los megahercio hasta los gigahercio. La complejidad y la escala de integración ha generado grandes avances tecnológicos en diferentes áreas como: en medicina, industria, telecomunicación, etc. Los diferentes productos que ofrece las industrias de semiconductores está de acuerdo a la complejidad de la aplicación que realizara el microcontrolador, solo para mencionar algunas empresas dedicadas a la fabricación de microcontroladores están: Microchip, Intel, STMicroelectronics, Atmel, Silicon Labs, etc.

Es un procesador de arquitectura de 32 bits con arquitectura RISC (Reduced Instruction Set Computer). *ARM Advanced RISC Machine*, es un tipo de CPU utilizado



ampliamente en microcontroladores para aplicaciones que presentan un equilibrio entre tamaño, desempeño y alta eficiencia energética.

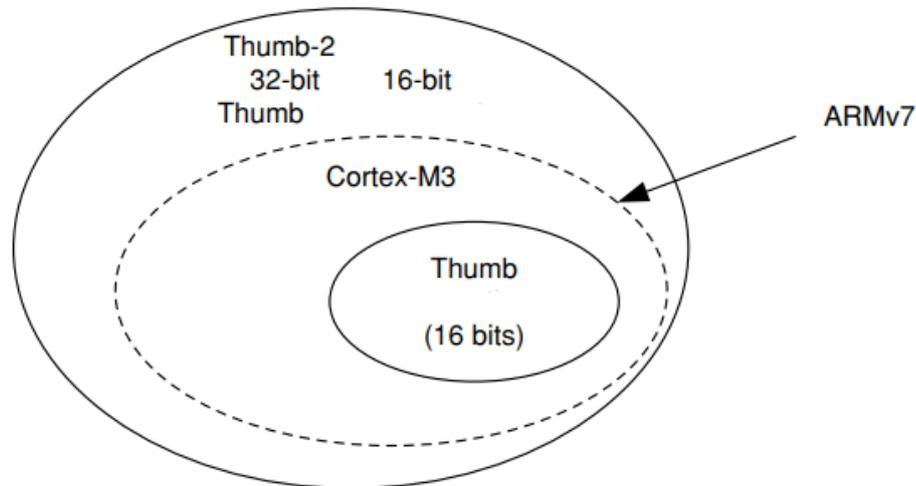
ARM es un proveedor de arquitectura de procesadores. Ofrece procesadores para aplicaciones de alto desempeño (Cortex-A), para procesamiento en tiempo real (Cortex-R) y procesadores para microcontroladores (Cortex-M). (Campeche Valencia, Espinoza Norzagaray, & Solano Alonso, 2018).

2.1.5.1. Tecnología thumb2.

Es una tecnología diseñada para microcontroladores ARM CORTEX para reducir el tamaño de memoria, mientras que los procesadores ARM sin Thumb realizan operaciones con instrucciones de 32 bits, los microcontroladores con tecnología Thumb utilizan instrucciones de 16 bits abreviadas compactas como un sub conjunto de instrucciones a 32 bits equivalentes, de esta forma se reduce el tamaño de memoria.

Thumb2 es una tecnología extendido de Thumb que mejora y trabaja en ambos tipos de instrucciones de 16 bits y 32 bits como se muestra en la figura 17, sin la necesidad de cambiar el modo de funcionamiento del procesador entre thumb y ARM instrucciones. La nueva tecnología de núcleo Thumb-2 está construida sobre la base de la tecnología de compresión de código Thumb de ARM líder en la industria, conservando todas las cualidades excepcionales del código compacto y la compatibilidad completa del código con las soluciones ARM existentes, al tiempo que proporciona un mayor rendimiento y eficiencia energética a partir del código compacto.

Figura 17: Relación entre las tecnologías Thumb y Thumb2



Fuente 17: (Yiu, 2012)

2.1.5.2. Microcontrolador ARM cortex-m3.

Tienen un microprocesador de 32 bits de alto rendimiento. Su núcleo está diseñado para procesamiento en tiempo real en aplicaciones de bajo costo y puede manejar tareas complejas, su arquitectura es de acuerdo ARMv-M que es diseñado para sistemas electrónicos embebidos (para aplicaciones específicas) esta versión de arquitectura suporta la tecnología Thumb2.

El microcontrolador Cortex-M3 está desarrollado específicamente para plataformas de alto rendimiento y bajo costo para una amplia gama de dispositivos, incluidos microcontroladores, sistemas de carrocería de automóviles, sistemas de control industrial, redes y sensores inalámbricos (ARM Developer, 2021).

Las características que tiene el microcontrolador son:

- Arquitectura Armv7-M



- Bus AHB (Harvard bus architecture) para el sistema y ATB para los periféricos.
- Cuenta con tecnología Thumb/Thumb2
- En 3 etapas, en ejecutar una instrucción
- Controlador de interrupciones sectorizado anidada
- 8 regiones MPU opcionales con subregiones y región de fondo
- Instrucciones de procesamiento de campo de bits integradas y bandas de bits a nivel de bus
- Interrupción no enmascarable 1 a 240 interrupciones físicas con 8 a 256 niveles de prioridad
- Controlador de interrupción de despertador de la CPU
- Multiplicación de hardware de ciclo único (32x32), división de hardware (2-12 ciclos), compatibilidad con ajuste saturado
- Puertos opcionales JTAG y Serial Wire Debug. Hasta 8 puntos de interrupción y 4 puntos de observación
- Instrucción opcional (ETM), seguimiento de datos (DWT) y seguimiento de instrumentación (ITM)

2.1.5.3. FreeRTOS.

Cuando el código de aplicación va cubrir muchas funciones y recursos es necesario dividir el código de programación en bloques separados con alguna tipo de comunicación o memoria compartida, las distintas funciones individuales deberán de ejecutarse en un determinado tiempo según a las prioridades que requiera la aplicación. FreeRTOS es uno de los muchos sistemas operativos que administra las distintas tareas que debe de ejecutar la CPU en un determinado tiempo muy pequeño y simple, implementado especialmente



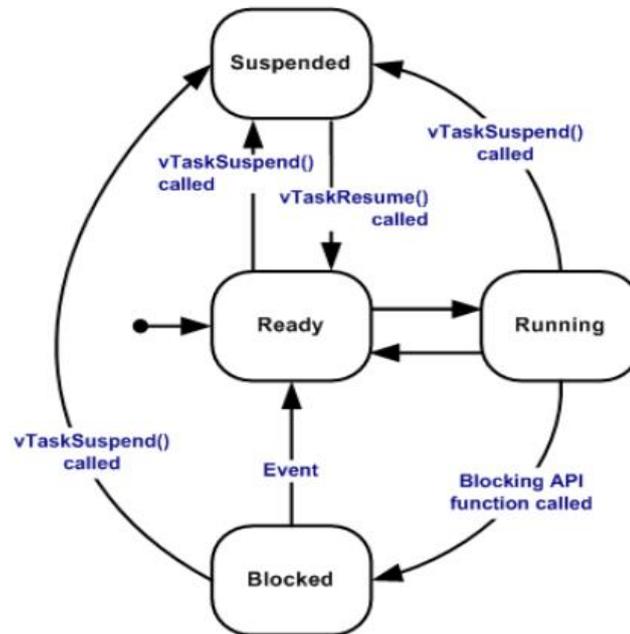
para microcontroladores, el código está compuesto por 3 archivos en lenguaje C, para la administrar a las distintas rutinas y múltiples subprocesos FreeRTOS, utiliza distintas funciones para administrar el estado de cada proceso o tarea en ejecución, los estados en la que puede estar son:

- **Running.** Cuando una subproceso esta está ejecutándose y asignado el recurso de la CPU.
- **Ready.** Cuando la tarea esta lista para entrar en modo running, esto quiere decir que todo los recursos como; memoria y periféricos están listos, y están esperando que el "*scheduler*" (programador de tareas) del sistema operativo le asigne la CPU.
- **Blocked.** El "*scheduler*" puede llevar una tarea a este estado si detecta que está esperando por un evento temporal (una espera de tiempo con la función), esperando por un evento externo (Interrupción), o a que un recurso compartido sea liberado (colas, semáforo, notificaciones). Cuando la espera termina, el "*scheduler*" puede regresar la tarea a estado "ready" (FreeRTOS, 2021).
- **Suspended.** Muy similar a "blocked" pero se diferencia en que una tarea solo puede ingresar o salir de este estado cuando es utilizada de forma específica la función (`vTaskSuspend ()` o `vTaskResume ()`) respectivamente. No es el "*scheduler*" del sistema operativo el que toma la decisión de cambiar el estado de una tarea a "suspended".

La decisión de la cual tarea entregar la CPU va a depender de las políticas de planificación seleccionada para el "*scheduler*". Si varias tareas están en estado ready, siempre la que tenga mayor prioridad será la que pase primero a estado "running", en la figura 18 muestra el diagrama de bloques

de los distintos estados en la que puede estar un proceso (FreeRTOS, 2021).

Figura 18: Posibles estados en la que puede estar un subproceso

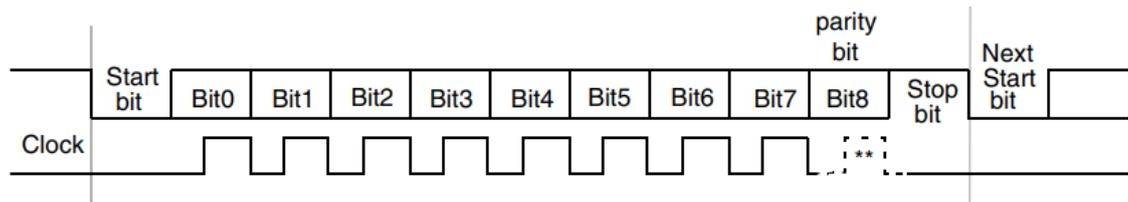


Fuente 18: (FreeRTOS, 2021).

2.1.6. Interface de comunicación de los microcontroladores

La comunicación serial es el protocolo más utilizado para el intercambio de información entre microcontroladores, su ventaja más resaltante de esta comunicación es de requerir menos recursos de hardware, solo se requiere un mínimo de dos líneas de transmisión, una línea para masa(o referencia) y la otra para para la trasferencia de datos en forma bidireccional (transmite y recibe). Para la interpretación de la información enviada es necesario que ambos sistemas tanto como el receptor y emisor estén sincronizados por un reloj cuyo periodo determina la duración de un bit de la señal de datos, tal como se muestra en la figura 19.

Figura 19: Señales del dato y clock en el tiempo



Fuente 19: (STMicroelectronics, 2015, pág. 795)

Existen dos tipos de comunicación serial, la transmisión serial síncrona y la asíncrona.

2.1.6.1. Comunicación Serial Síncrona.

Es el tipo de comunicación más utilizada en distancias cortas entre microcontroladores, para una comunicación entre dos sistemas en full dúplex, es necesario que el protocolo físico tenga como mínimo cuatro conductores, el reloj, el transmisor, el receptor y la masa. La comunicación semi dúplex, es el protocolo físico que utiliza tres conductores físico, el reloj, dato y la masa, el conductor dato opera en modo bidireccional es el mínimo necesario en hardware para la comunicación serial asíncrona, entre los protocolos más comunes tenemos el protocolo I2C, SPI, etc.

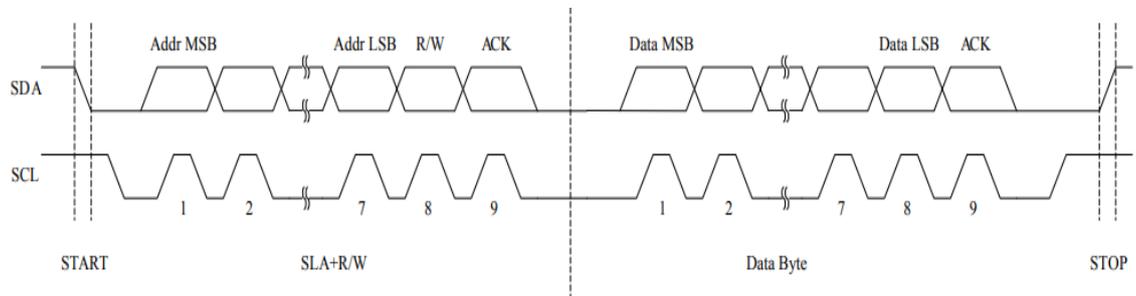
2.1.6.1.1. Protocolo i2c.

Es un tipo de comunicación semi-dúplex implementado por la compañía *Philips Semiconductors* en 1982.

El protocolo I2C Inter-Integrated Circuit (Inter Circuitos Integrados), el I2C es un bus con múltiples maestros, lo que significa que se pueden conectar varios circuitos integrados al mismo bus y que todos ellos pueden actuar como maestro, sólo con iniciar la transferencia de datos. Este bus se utiliza en muchos dispositivos, en especial en equipos de vídeo como monitores de computadora, televisores y videocaseteras. En la figura 20 se

observa la estructura básica de como viajan los bits mediante el protocolo I2C. (Acosta Portilla, 2014, pág. 37)

Figura 20: Comunicación peculiar I2C



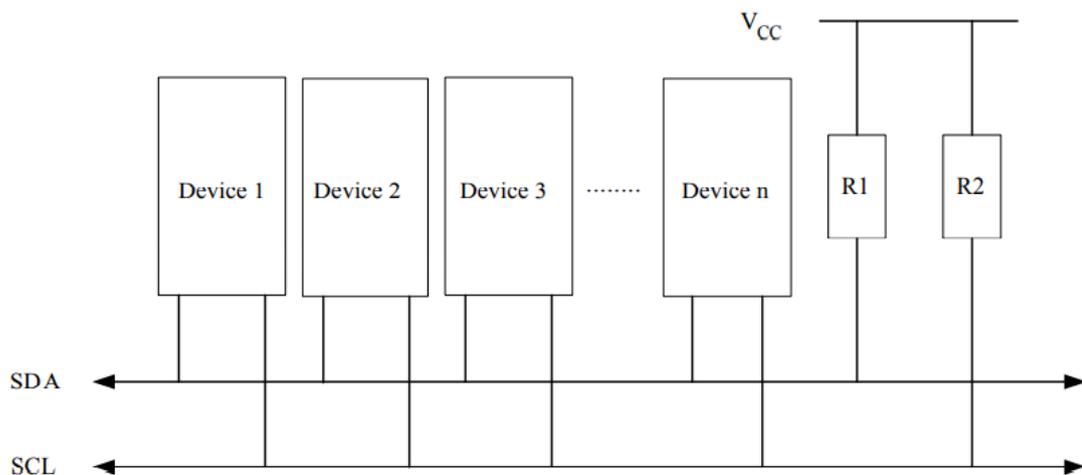
Fuente 20: (Atmel Corporation, 2015, pág. 281)

De la figura, donde:

1. SDA: señal serial dato
2. SCL: señal serial Clock
3. START: inicio de la comunicación
4. Addr MSB: bits de extremo izquierdo
5. Addre LSB: bits de extremo derecho
6. R/W: leer o escribir en memoria
7. ACK: reconocimiento

La interfaz serial de dos cables I2C es ideal para aplicaciones típicas de microcontroladores. El protocolo permite al diseñador de sistemas interconectar hasta 128 dispositivos diferentes utilizando solo dos líneas de bus bidireccionales, una para reloj (SCL) y otra para datos (SDA). El único hardware externo necesario para implementar el bus, es utilizar una resistencia para cada una de las líneas de bus I2C. Todos los dispositivos conectados al bus tiene direcciones individuales, y los mecanismos para resolver quien utilizara el bus son inherentes del protocolo I2C. (Atmel Corporation, 2015, pág. 278)

Figura 21: Interconexión de dispositivos al bus I2C



Fuente 21: (Atmel Corporation, 2015, pág. 278)

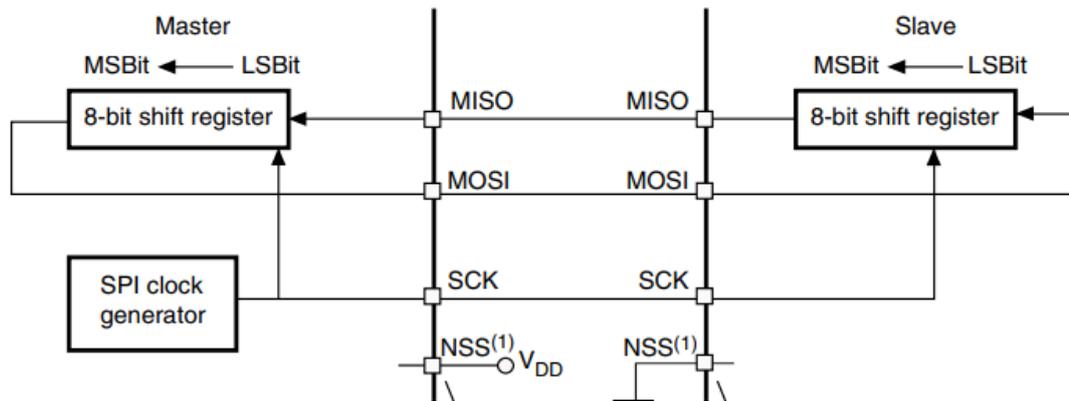
2.1.6.1.2. Protocolo SPI.

Es otro tipo de comunicación síncrona que soporta la transmisión full dúplex, que fue inicialmente creado por la empresa Motorola (especializada en la electrónica).

El protocolo SPI (Serial Peripheral Interface), es un bus de tres líneas, sobre el cual se transmiten paquetes de datos seriamente. Cada una de estas tres líneas porta la información entre los diferentes dispositivos conectados al bus. Cada dispositivo conectado al bus puede actuar como transmisor y receptor al mismo tiempo. Donde estas líneas transfieren los datos (una en cada dirección) y la tercera línea es la del reloj. Algunos dispositivos solo pueden ser transmisores y otros solo receptores, generalmente un dispositivo que tramite datos también puede recibir. Los dispositivos conectados al bus son definidos como maestros y esclavos. Un maestro es aquel que inicia la transferencia de información sobre el bus y genera las señales de reloj y control. Un esclavo es un dispositivo controlado por el maestro. (Acosta Portilla, 2014, pág. 39)

En la siguiente figura 22, se muestra una básica interconexión entre un master y un esclavo.

Figura 22: Simple master/simple esclavo aplicación



Fuente 22: (STMicroelectronics, 2015, pág. 706)

Donde:

1. MISO: master es configurado en entrada y esclavo en salida
2. MOSI: master es configurado en salida y esclavo en entrada
3. SCK: línea del reloj generado por el master
4. NSS: pin para seleccionar el dispositivo esclavo
5. Master: dispositivo que inicia la comunicación y genera los pulso del reloj
6. Slave: dispositivo que recibe los pulsos de reloj del master

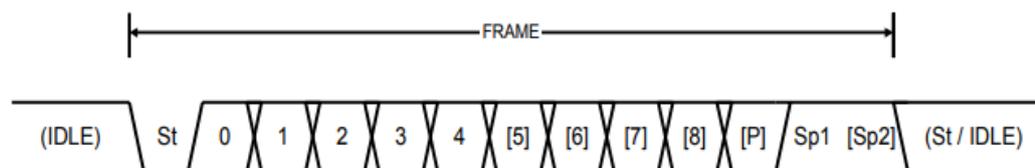
2.1.6.2. Comunicación Serial Asíncrona.

En este tipo de comunicación la línea física del reloj es eliminado por completo. Para la interpretación correcta de la información transmitida, los dispositivos se sincronizados cuando detectan la señal *start*, (inicio de la comunicación) y entonces inicia la frecuencia de muestreo previamente definido antes de iniciar la comunicación, el rs232 es el protocolo más antiguo que utiliza este tipo de comunicación, en la figura 23 se muestra una transmisión típica.

2.1.6.2.1. Protocolo rs232.

Una trama (bloque de información) comienza con el bit de start seguido del bit de datos menos significativo. Luego los siguientes bits de datos, hasta un total de nueve, si estos están teniendo éxito, terminan con el bit más significativo. Si está habilitado, el bit de paridad se inserta después de los bits de datos, antes de los bits de parada (stop). Cuando se transmite una trama completa, puede ser seguida directamente por una nueva trama, o la línea de comunicación se puede establecer en un estado inactivo (alto). La siguiente figura ilustra las posibles combinaciones de los formatos de trama. Los bits dentro de los corchetes son opcionales. (Atmel Corporation, 2015, pág. 252)

Figura 23: Formato de un bloque de información



Fuente 23: (Atmel Corporation, 2015, pág. 252)

Donde:

1. St: bit de inicio, siempre inicia en nivel bajo
2. (n): bits de datos (0 a 8)
3. P: bit de paridad, puede ser par o impar
4. Sp: bit de parada, siempre en nivel alto
5. IDLE: no transferencia en la línea de comunicación. Un IDLE, la línea estará en nivel alto

2.1.6.2.2. Protocolo Universal Serial Bus (USB).

Es la comunicación que ha prevalecido con el tiempo para la comunicación con dispositivos externos, la gran velocidad de transferencia de datos y los distintos formas



de transferencia hace que este protocolo tenga bastantes aplicaciones con dispositivos externos de diferentes empresas, este protocolo cuenta con “una interfaz serie diseñada para ser plug-and-play (conectar y usar), lo que facilita la conexión de periféricos a un host (anfitrión)” (ARMKEIL, 2021). La transferencia de datos por USB puede consistir uno o más transacciones:

- **Control Transfers.** Es utilizado normalmente para configurar un dispositivo USB, al inicio de la conexión del dispositivo al host.
- **Interrupt Transfers.** Normalmente utilizado cuando los datos no son tienen una transferencia continua, cuando se necesita enviar datos al host una interrupción es generado para actualizar los datos.
- **Isochronous Transfers.** Ampliamente utilizado para transmisión de datos en tiempo real, como audio y video. Tienen un ancho de banda fija garantizada, pero sin detección de errores.
- **Bulk Transfers.** es el tipo de transferencia que utiliza todos los dispositivos de almacenamiento.

Transferencias masivas se utilizan para datos que no son del tipo Control, Interrupt o Isochronous. El intercambio confiable de datos está garantizado a nivel de hardware mediante la detección de errores.

Los datos se transfieren de la misma manera que en las transferencias de Interrupt, pero no tienen una tasa de sondeo definida. Las transferencias masivas ocupan todo el ancho de banda que está disponible una vez finalizadas las otras transferencias. Si el bus de datos está muy ocupado, es posible que se retrase una transferencia masiva. (ARMKEIL, 2021)

El USB usa dos cables para suministrar energía y dos cables para transferir señales. Se admiten las siguientes tasas de transferencia de datos:

Tabla 1: Aplicaciones comunes

Rendimiento	Atributos	Aplicaciones
Baja velocidad: 1,5 Mbits/s	Múltiples periféricos conectables en caliente menor costo	dispositivos interactivos: mouse, teclados, periféricos de juegos
Velocidad máxima: 12 Mbits/s	Bajo costo. Conectable en caliente. Múltiples periféricos. Latencia garantizada. Ancho de banda garantizado	teléfono, audio, video comprimido, impresoras, escáneres
Alta velocidad: 480 Mbits/s	Latencia garantizada Alto ancho de banda	video, almacenamiento masivo

Fuente 24: (armKEIL, 2021)

La mayoría de dispositivos USB existentes, comparten características con otros dispositivos USB. Por ejemplo, todos los teclados (independientemente de la marca) envían caracteres por el puerto USB; lo mismo para las impresoras. Por ello, el USB-IF (del inglés USB Implementers Forum) definió las clases USB, donde se agrupan dispositivos que comparten ciertos atributos (AXELSON, 2005). Las principales clases son:

- **CDC** (del inglés Communication Device Class): Esta clase permite emular el comportamiento de los puertos RS-232, permitiendo crear un puerto COM virtual.
- **HID** (del inglés Human Interface Devices): Esta clase básicamente abarca dispositivos que son usados por personas para controlar la operación de alguna parte del computador. Algunos ejemplos de dispositivos que pertenecen a esta clase son: teclado, mouse, joystick.



- **MSC** (del inglés Mass Storage Class): Es la clase asociada con los dispositivos de almacenamiento. Algunos de los dispositivos que pertenecen a esta clase son: memorias USB, discos duros externos, reproductores de música, celulares, cámaras digitales, etc.
- **Custom Class:** Finalmente, se tiene la clase USB personalizada, la cual permite modificar varios parámetros dentro del protocolo como por ejemplo: tipos de transferencia, número de endpoints, formato en que se entrega la data útil, etc. Dado que es más flexible en el sentido de que se puede modificar varios parámetros, es necesario también que el desarrollador trabaje con un driver propietario y desarrolle su propia aplicación para que el host pueda comunicarse con el dispositivo.

2.1.6.3. WinUSB Device.

Para que un dispositivo con puerto USB se comunique a full operación con un host, tenemos que decirle las características que tiene nuestro dispositivo. WinUSB Device es el encargado de realizar esta tarea cuyo *firmware* “micro código con información del funcionamiento del hardware”, define ciertos descriptores de funciones del Sistema Operativo (Windows de Microsoft) que informan el ID compatible como "WINUSB".

El propósito de un dispositivo WinUSB es permitir que Windows cargue Winusb.sys como el controlador de funciones del dispositivo sin un archivo INF personalizado. Para un dispositivo WinUSB, no es necesario que distribuya archivos INF para su dispositivo, lo que simplifica el proceso de instalación del controlador para los usuarios finales. Por el contrario, si necesita proporcionar un INF personalizado, no debe definir su dispositivo como un dispositivo WinUSB y especificar el ID de hardware del dispositivo en el INF. (Microsoft, 2021)



2.1.7. Lenguaje de programación

La funcionalidad y la secuencia de acciones que una máquina con control electrónico debe responder a distintas señales de entrada, es determinado por el código máquina cargada en la tarjeta de control electrónico, usualmente esta tarea lo realiza como mínimo un microcontrolador con recursos suficientes. Para la construcción de un determinado código máquina, existe muchos Software con un lenguaje de alto nivel de programación, donde la sintaxis de estos lenguajes se aproxima a la comunicación natural. La interpretación de un determinado bloque de código por estos Software, son tratados como objetos, consiguiendo una mayor entendimiento y facilidad de futuras mejorar del código que controla la máquina.

2.1.7.1. Assembler.

La representación simbólica de una palabra maquina “0” y “1” (ceros y unos) mejoran el entendimiento que realiza el programa. Es un lenguaje de programación de bajo nivel, que tiene casi un total acceso a los registros y memoria de una microcomputadora, que en un lenguaje de alto nivel.

Se denominan lenguajes de bajo nivel porque dependen de la arquitectura del procesador en el que queremos ejecutar el programa y porque no disponen de sentencias con una estructura lógica que faciliten la programación y la comprensión del código para el programador, sino que están formados por una lista de instrucciones específicas de una arquitectura.

Lenguaje simbólico que se ha definido para que se puedan escribir programas con una sintaxis próxima al lenguaje de máquina, pero sin tener que escribir el código en binario, sino utilizando una serie de mnemónicos más fáciles de entender para el programador. Para ejecutar estos programas también es

necesario un proceso de traducción, generalmente denominado ensamblaje, pero más sencillo que en los lenguajes de alto nivel. (Alberto Orenga & Enrique Manonellas, 2000)

Figura 24: Parte de un código en Assembler

```

- -
      .DOSSEG           ; Programa de demostración
      .MODEL SMALL
      .STACK 1024
Two   EQU 2            ; Constante
      .DATA
VarB  DB ?            ; define un Byte, cualquier valor
VarW  DW 1010b        ; define un Word, en binario
VarW2 DW 257          ; define un Word, en decimal
VarD  DD 0AFFFFh     ; define un DoubleWord, en hexa
S     DB "Hello !",0 ; define un String
      .CODE
main: MOV AX,DGROUP   ; resuelto por el linker
      MOV DS,AX       ; inicializa el reg. de segmento de datos
      MOV [VarB],42   ; inicializa VarB
      MOV [VarD],-7   ; setea VarD
      MOV BX,Offset[S] ; dirección de "H" de "Hello !"
      MOV AX,[VarW]   ; poner el valor en el acumulador
```

Fuente 25: (Ramón González, 2012)

2.1.7.2. Lenguaje de programación C/C++.

Se trata de un lenguaje de alto nivel, donde unos conjuntos de códigos enlazados para realizar una determinada acción, son encapsulados y tratados como objetos, para la restricción de todo el algoritmo y algunas funciones y variables privadas.

La diferencia fundamental entre la programación procedimental y la orientada a objetos está en la forma de tratar los datos y las acciones. En la primera aproximación ambos conceptos son cosas distintas, se definen unas estructuras de datos y luego se define una serie de rutinas que operan sobre ellas. Para cada



estructura de datos se necesita un nuevo conjunto de rutinas. En la programación orientada a objetos los datos y las acciones están muy relacionadas. Cuando definimos los datos (objetos) también definimos sus acciones. En lugar de un conjunto de rutinas que operan sobre unos datos tenemos objetos que interactúan entre sí.

Objetos y mensajes Un Objeto es una entidad que contiene información y un conjunto de acciones que operan sobre los datos. Para que un objeto realice una de sus acciones se le manda un mensaje. Por tanto, la primera ventaja de la programación orientada a objetos es la encapsulación de datos y operaciones, es decir, la posibilidad de definir Tipos Abstractos de Datos. De cualquier forma la encapsulación es una ventaja mínima de la programación orientada a objetos. Una característica mucho más importante es la posibilidad de que los objetos puedan heredar características de otros objetos. (Taleng Oliag, 1995)

2.1.7.3. Microsoft visual Studio.

Es una plataforma que tiene varios lenguaje de programación diseñado para el sistema operativo Windows, que es una colección de diferentes programas .NET.

2.1.7.3.1. ¿Qué es .NET?

.NET es toda una nueva arquitectura tecnológica, desarrollada por Microsoft para la creación y distribución del software como un servicio. Esto quiere decir, que mediante las herramientas de desarrollo proporcionadas por esta nueva tecnología, los programadores podrán crear aplicaciones basadas en servicios para la web.

2.1.7.3.2. Visual Basic .NET.

Es una versión de Visual BASIC enfocada al desarrollo de aplicaciones .NET. Este lenguaje de programación apareció en el año 1991 como una evolución del fabricante



de Microsoft. Dicho lenguaje de programación es orientado a objetos y permite crear la interfaz de usuario utilizando formularios u controles a los cuales se les puede escribir código para definir el comportamiento de una aplicación. Visual Basic .NET contiene una serie de instrucciones, funciones y palabras clave que están relacionados con la interfaz gráfica de Windows. Con este lenguaje es posible la creación de aplicaciones Windows y sitios Web, donde se puede realizar la gestión estructurada de errores, el soporte para la ejecución de varios subprocesos, así como la interacción con archivos de texto, bases de datos, utilizando el envío de datos con documentos XML (lenguaje estándar para el intercambio de información estructurada entre diferentes plataformas) y la generación de informes, etc. Generalmente el usuario que programa con Visual Studio utiliza en entorno de desarrollo integrado de Microsoft Visual Studio NET.

2.1.8. Código Gerber.

Es un conjunto de comandos diseñados para poder ser interpretados por una máquina encargada en imprimir figuras diseñadas con algún software CAD, normalmente Los datos de un archivo Gerber son un medio simple y genérico de transferir información para crear placas de circuito impreso.

Una amplia variedad de dispositivos que convierten los datos de PCB electrónicos a obra de arte producida por una foto plotter (trazador de imágenes). Prácticamente todos los sistemas CAD de PCB generan Datos de Gerber porque todos los fotoplotters los leen. Es una estructura de software que consta de coordenadas X, Y complementadas con comandos que definen dónde se ubica la imagen de la PCB como inicio, qué forma tomará y dónde termina. Además de las coordenadas, Los datos de Gerber contienen información de apertura, que define las formas y tamaños de líneas, agujeros y otras características. El formato Gerber, que es el formato en el que se expresan los datos Gerber, en realidad es una familia de formatos de datos que son subconjuntos del estándar. Extendido El formato



Gerber, que también se llama RS-274X, proporciona mejoras que manejan códigos de relleno de polígono, composición de imágenes positivas / negativas y aperturas personalizadas, y otras características. RS-274X también encapsula la lista de aperturas en el encabezado del archivo de datos Gerber y, por lo tanto, permite que los archivos pasen de un sistema a otro sin la necesidad de volver a ingresar la tabla de apertura. RS-274X produce una variedad de Los datos de Gerber se denominan datos X. RS-274X es un súper conjunto del formato estándar. Que soporta RS-274X algunos de los códigos de datos de parámetros (códigos G) y códigos de apertura (códigos D) contenidos en RS-274D, así como códigos denominados parámetros de masa.

Los parámetros de la gráfica que definen características que pueden afectar a toda una trama, o solo partes específicas de la trama, llamadas capas. Los parámetros de masa amplían capacidades del formato Gerber. (Barco Graphics N.V, 2001) (UCAMCO, 2021)

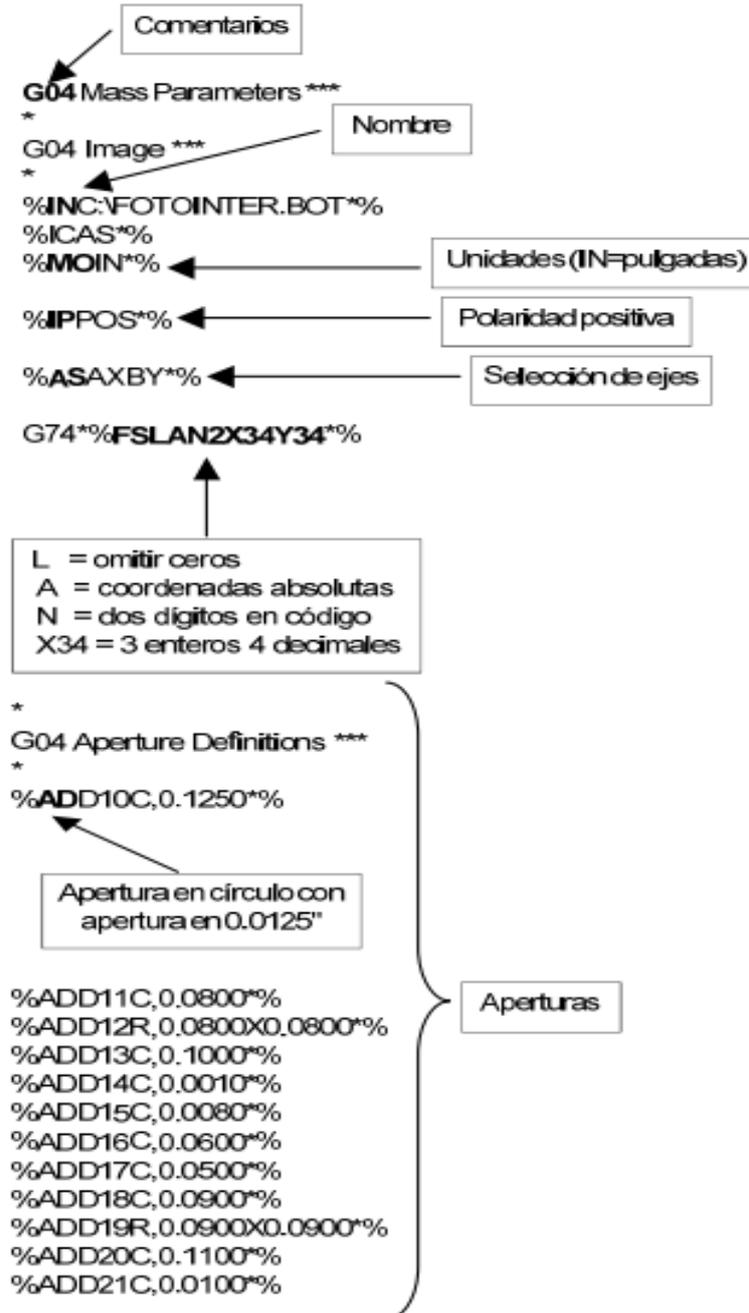
La extensión en que terminan los archivos gerber son muy variadas, como:

- Serigrafía Cara Superior (Top Silk) <nombre>.GTO
- Máscara Antisoldante Cara Superior (Top Mask) <nombre>.GTS
- Cobre (pistas) Cara Superior (Top Copper) <nombre>.GTL
- Cobre (pistas) Cara Inferior (Bottom Copper) <nombre>.GBL
- Máscara Antisoldante Cara Inferior (Bottom Mask) <nombre>.GBS
- Serigrafía Cara Inferior (Bottom Silkscreen) <nombre>.GBO
- Borde de Tarjeta <nombre>.BRD
- Top Solder Paste <nombre>.GTP

Según el Software CAD utilizado y la versión, la mayoría es creada con la extensión .TXT. Todos los archivos con diferentes extensiones tienen el mismo formato

o parecido como la que se muestra en la figura 25, y su contenido indican todo las herramientas que se utilizaran para el proceso de mecanizado.

Figura 25: Contenido en un archivo Gerber



Fuente 26: (Cruz Contreras, Herrera Lozada, & Gonzalez Robles, 2002)



2.1.9. Motores de corriente continua

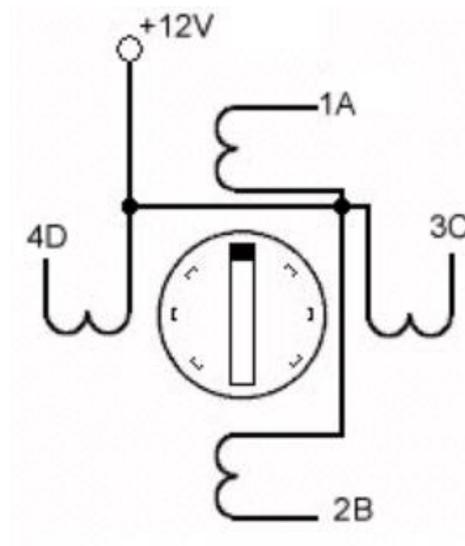
Es el más fácil de poder controlar y de gran variedad de formas de control, está constituido principalmente por un estator que es el encargado de producir el campo magnético por la cual circula una corriente que energiza las bobinas o solo son implementados por imanes permanentes. El Rotor está construido habitualmente con chapas de algún material de bajo histéresis de magnetización para la reducción de pérdidas por corrientes Foucault. Dichas chapas, tienen unas ranuras en donde se alojan los bobinados del rotor.

2.1.9.1. Motores de paso a paso

Son los tipos de motores más utilizados en desplazamiento de gran precisión donde el tipo de control es simple, solo se requiere una determinada secuencia de excitación de sus bobinas.

En el motor unipolar se compone, básicamente de dos bobinas, cada una con una derivación en el centro. Las derivaciones del centro son llevadas fuera del motor como dos cables separados o conectados entre sí internamente y llevados fuera del motor como se muestra en la figura 26. Como resultado, los motores unipolares tienen 5 o 6 cables. Independientemente del número de cables, los motores unipolares son manejados de la misma manera. El cable de toma central está ligado a una fuente de alimentación y los extremos de las bobinas son llevados alternativamente a tierra. (diarioelectronico, 2021)

Figura 26: Conexión de boninas internas de un Motor Unipolar



Fuente 27: (diarioelectronico, 2021)

2.2. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.2.1. Hipótesis general

El diodo laser ultravioleta de 405 nanómetros, podrá ser controlado por el protocolo SPI (Serial Peripheral Interfast) de un Microcontrolador ARM CORTEX M3, con la utilización del DMA (Direct Memory Access).

2.2.2. Hipótesis específicas

- Debido a la tecnología láser es posible transferir imágenes a una placa de circuito impreso
- La velocidad de transferencia de datos por el puerto SPI debe ser controlado para la no deformación de la imagen a transferir
- El Microcontrolador atenderá la demanda de recursos de control en tiempo real
- La longitud de onda de 405 nanómetros realiza el fotograbado en la placa, a través de una película fotosensible



CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. DISEÑO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. *Diseño de investigación*

En la presente investigación se está probando una forma de transferir un diseño de circuito impreso desarrollado por algún software mediante un protocolo de comunicación serial SPI y además la documentación que existe es muy poca o inentendible, por consiguiente el plan o estrategia de investigación es **experimental** y **descriptiva**; experimental porque para responder la pregunta principal es necesario someter el prototipo a un experimento bajo condiciones reales en campo, y descriptiva porque para lograr los objetivos específicos es necesario conocer los aspectos más importantes de las tecnologías de las que podemos disponer para la conclusión del prototipo.

3.1.2. *Nivel de la investigación*

Para dar respuestas porque utilizar un microcontrolador ARM CORTEX-M3, para la transferencia de un diseño de circuito impreso, se centrara en explicar y dar la condiciones necesarias, la cual tiene un alcance **explicativo** y en cierto modo es **exploratoria** pues se está utilizando un periférico del microcontrolador diseñado para otro propósitos.

3.1.3. *Tipo de investigación*

El tipo de investigación se estudia, según a su análisis o indagación en torno a un asunto o tema, con el objetivo subsecuente de aumentar, ampliar o desarrollar el conocimiento que se tiene de este, el cual depende del enfoque que se le quiera dar a la



investigación y el conocimiento que ya se tenga respecto al tema. Bajo esta óptica la presente investigación es de tipo **aplicada** pues busca resolver en cierta medida el problema de desarrollar placas de circuitos impresos.

3.1.4. Población y muestra de la investigación

3.1.4.1. Población

Para el presente trabajo de investigación, la población está constituida por la cantidad de circuitos impresos realizados por el prototipo en el departamento de puno, provincia de puno, distrito de puno.

3.1.4.2. Muestra

Por la naturaleza de la presente investigación y de sus características de una cuidadosa y controlada selección de casos que cumplan con ciertas características especificadas previamente establecidos en el planteamiento del problema, por tanto la muestra es no probabilística.

3.1.5. Ubicación y descripción de la investigación

3.1.5.1. Ubicación

El proyecto se desarrollada en el Departamento de Puno, Provincia de Puno, Distrito de Puno.

3.1.5.2. Descripción de la investigación

Para poder imprimir tarjetas de circuitos electrónicos impresos que tengan pistas de conexión con las dimensiones suficientes para poder realizar la interconexión entre componentes SMD. El prototipo deberá tener la capacidad de enfocar el haz láser en cualquier punto acotado y la posibilidad del desplazamiento en un espacio de dos dimensiones con desplazamientos en micrómetros de longitud. Para dejar marcado en un



determinado paso del haz laser, el film fotosensible ayudara a grabar todas las zonas donde fueron expuesto por el láser.

3.1.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La recolección de datos se refiere a cómo y qué medios se usan para la obtención de la información, que será de utilidad para la corroboración de nuestras hipótesis, como consecuencia utilizaremos trazos de líneas en forma de rejillas de diferentes medidas homologadas de tal manera que el haz laser deberá pasar por dichas líneas para poder determinar el error.

3.1.6.1. Instrumentos

Los instrumentos necesarios para la recolección de datos para este proyecto de investigación fueron:

- Multímetro digital, el cual se utilizó para calibrar y medir los componentes electrónicos utilizados en este proyecto de investigación.
- Cronometro, este instrumento se utilizó para medir el tiempo de trabajo que tomó el prototipo CNC para fresar los circuitos impresos de acuerdo a las dimensiones de diseño.
- Cinta métrica, en este caso se utilizó para calibrar el prototipo CNC, así como para medir las piezas para la construcción del prototipo.
- Vernier o pie de rey de la marca UYUSTOOLS este tiene una precisión de 0.02mm, este instrumento se utilizó para realizar la medida milimétrica de los circuitos fabricados y también para la calibración del prototipo.
- Hoja de captura de datos Excel.
- Hoja de observación para la calibración y funcionamiento de ensayo error.
- software de diseño de circuitos electrónicos.



- IDE de MicroVisión.
- IDE Atmel Studio
- Laptop de la marca HP con sistema operativo Windows 10.
- Software Microsoft Visual Studio 2013
- Film fotosensible AZ nLOF 2000
- Placa de circuito impreso para el grabado
- Revelador TechniStrip NF52
- Diodo laser ultravioleta SLD3237VF
- Microcontrolador STM32F103C8
- Microcontrolador ATMEGA48V
- Motor de tres fases con espejos montados en un tambor hexagonal
- Motor unipolar 1.8° de paso
- Componentes electrónicos pasivos y activos

3.1.7. Técnicas de procesamiento de datos

En este proyecto de investigación la técnica de procesamiento de datos estuvo basada en operaciones estadísticas con las que se procesaron los datos recolectados de diferentes pruebas, estas operaciones se relacionaron con la diferencia de error y la media de este valor, para realizar estas operaciones se utilizaron las medidas que se tomaron de las muestras de este proyecto de investigación.

3.1.7.1. Error

Para determinar si los circuitos impresos por el prototipo se aproximan al diseño original, se define el error, como la diferencia de la señal o medida de referencia contra la señal de salida o el producto final como se muestra en la ecuación (1)



$$Error = VT - VE \quad (1)$$

Donde:

VT : Valor teórico

VE : Valor experimental

3.1.7.2. Media de error

$$x = \frac{\sum \text{muestras}}{n} \quad (2)$$

Donde:

x : media

n : número de muestras

3.1.7.3. Varianza

$$\sigma_x^2 = \sum (xi - \bar{x})^2 / n \quad (3)$$

Donde:

σ_x^2 : Varianza

xi : i-enésima diferencia de error

\bar{x} : media

n : número de muestras

3.2. DESARROLLO DEL PROTOTIPO

Para materializar la idea de la investigación, en una máquina que cumpla con todos los objetivos de la investigación, se reutilizara y se reacondicionara las funcionalidades de algunos equipos electrónicos que cumplan algún movimiento mecánico básico, para más luego agregar más funcionalidades propias requeridas para



una impresión de diseños electrónicos de PCBs. Este prototipo estará limitado a imprimir muestras, a las siguientes dimensiones de diseño:

- Ancho máximo que podrá tener el PCB. 200mm
- Altura máxima que podrá tener el PCB. 300mm

Se le hará operar al diodo laser en su máxima potencia para reducir el tiempo de impresión.

3.2.1. Desarrollo del sistema mecánico

La mecánica se encargara de contener la muestra y desplazarla en las direcciones que indique el diseño. Para un desplazamiento que tenga valides y confiabilidad, el motor encargado, tendrá la fuerza suficiente independientemente de la carga que transporta.

3.2.1.1. Desplazamiento eje Y

Es el encargado de cargar y desplazarlo la muestra a imprimir en las coordenadas Y de un plano, es similar a un escáner lineal, en donde el cabezal que contiene el sensor escáner, pasa a lo largo de una hoja A4 como se muestra en la figura 27 y figura 28, para luego digitalizar alguna imagen. Este mecanismo de desplazamiento constituido por rieles, engranes reductores y un motor unipolar (PM25S-024 de 12w), cumplen con los requerimientos establecidos para transportar la placa PCB a imprimir por láser de nuestra investigación, su controlador a diseñar se detallara posteriormente.

Figura 27: Escáner que se utilizara para el desplazamiento eje Y



Fuente 28: (rastrocklick, 2021)

Figura 28: Rieles, motor y engranes reductor

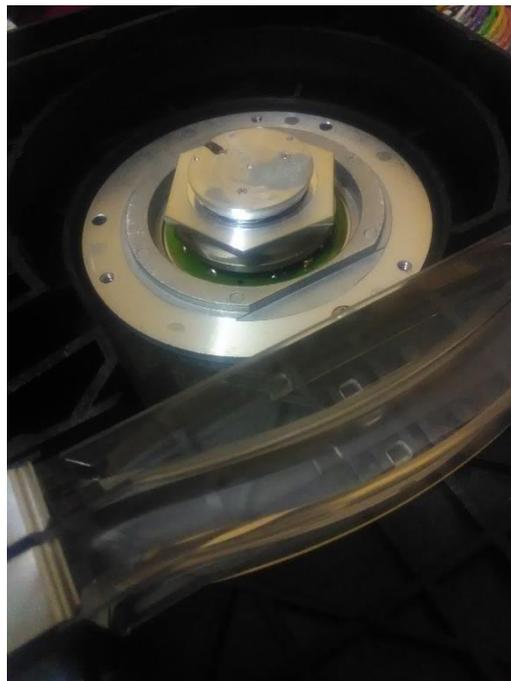


Fuente 29: Elaboración propia

3.2.1.2. Desplazamiento eje X

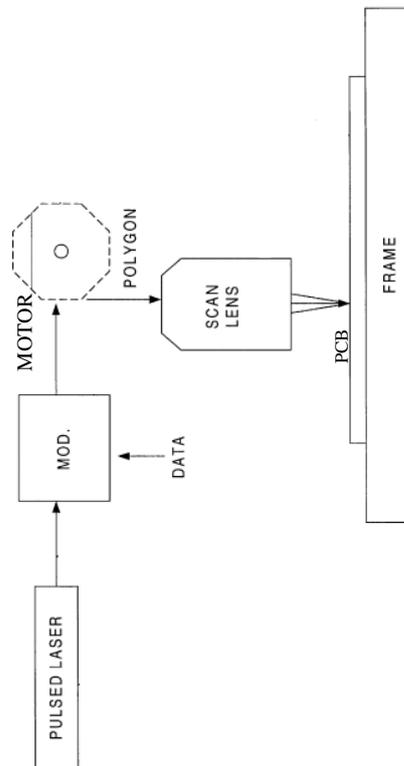
En un inicio se pretendía utilizar mecanismos de desplazamiento lineales constituidos por rieles, pero para mayor rendimiento se utilizara la tecnología patentada “SYSTEM, METHOD AND ARTICLE OF CIRCUIT BOARD UTILIZING A MODE LOCKED LASER AND SCOPHONY OPERATION” (Vernackt, 2003), que implementa espejos montados en un tipo de tambor que gira a grandes velocidades controladas, como se muestra en la figura 29 y figura 30, estos espejos desvían el haz laser en cualquier punto de una línea, este tipo de motor (AX060381 de la marca CNAPPRO) para nuestro prototipo lo utilizaremos para el desplazamiento en el eje X. su controlador a diseñar se detallara más adelante.

Figura 29: Mecánica para el desplazamiento eje X



Fuente 30: Elaboración propia

Figura 30: Haz laser reflejado por el motor con espejos



Fuente 31: (Vernackt, 2003)

3.2.2. *Desarrollo del funcionamiento del sistema electrónico*

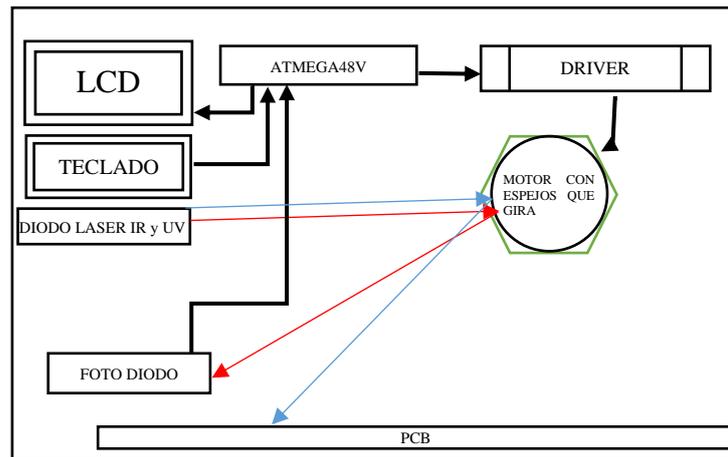
El diseño de la electrónica de control se desarrolla a los requerimientos y funcionalidades que disponemos de los mecanismos existentes, para este prototipo utilizaremos dos microcontroladores, el ATMEGA48V inicialmente perteneciente a la empresa Atmel, y con su software de programación Atmel Studio aprovecharemos todo el potencial que tiene el microcontrolador, por otro lado para el control y comunicación con la PC, el STM32f103c8 y con el software MicroVision serán los responsables de llevar la lógica de control de que todas las funciones que ejecuten correctamente.

3.2.2.1. **Recursos y lógica de control de rpm eje X**

El microcontrolador Atmega48v será el encargado de generar las señales que controlan la velocidad del motor encargado de proyectar el haz laser, además esta deberá

dé mostrar la velocidad de gira en tiempo real del motor, para llevar a cabo esta medida se instalara un fotodiodo que enviara señales de pulso cada vez que una luz láser pase por él. En la figura 31 se muestra un esquema de funcionamiento, también se necesitara un teclado matricial básico para poder variar o cambiar alguna variable de control.

Figura 31: Diagrama de comunicación



Fuente 32: Elaboración propia

3.2.2.1.1. Logica de funcionamiento

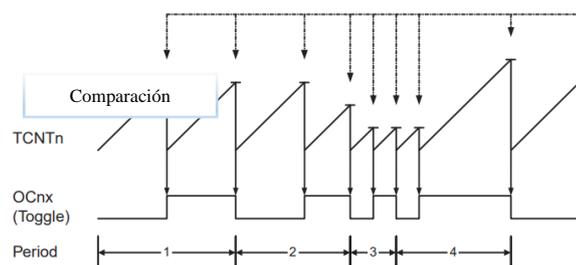
La principal funcionalidad del microcontrolador estará enfocado en generar onda cuadrada con frecuencia variable y a la vez mostrar la velocidad con que está girando el motor. Para generar la frecuencia variable utilizaremos el Timer/Counter2 de 8bits, periféricos disponibles de propósito general con funcionalidades básicas como:

- Contador de un solo canal
- Borrar temporizador en comparación de coincidencias
- Modulador de ancho de pulso (PWM) sin fallas y con corrección de fase
- Generador de frecuencia
- Pre escalar de reloj de 10 bits

- Desbordamiento y comparación de fuentes de interrupción de coincidencia
- Permite la sincronización desde un cristal de reloj externo de 32 kHz

De sus cuatro maneras de funcionamiento, el “Clear Timer On Compare Match (CTC) Mode” (Atmel Corporation, 2015), lo utilizaremos para generar la frecuencia variable, su funcionamiento se basa en re-iniciar el contador cada vez que alcanza al valor de un registro de comparación establecido como entrada. Cuando ocurre tal comparación, un pin dedicado cambia su estado lógico para poder generar la onda cuadrada de frecuencia variable, en la figura 32 se muestra ejemplos de varios puntos donde ocurre tal comparación.

Figura 32: Generador de frecuencias



Fuente 33: (Atmel Corporation, 2015)

De la figura 32 se tiene:

- TCNTn. Unidad contador, incrementa o decrementa por uno
- OCnx. Registro de entrada para manipular la frecuencia.

Para saber la velocidad con que gira el motor, se utilizara la unidad “Input Capture Unit” (Atmel Corporation, 2015), donde el Timer/Counter1 de 16 bits se encargara de capturar las señales que envia el fotodiodo. Este Timer/counter1 dotado con mas funcionalidad especiales, consume muy poco recursos de CPU del Atmega48v al utilizar sus vectores de interrupcion con las que cuenta el periferico. En la figura 33 se muestra

el código suficiente para realizar la captura del contador, cuando el vector interrupción salta por la detección de algún cambio ocurrido en su pinout PB0.

Figura 33: Procedimiento apuntado por el vector interrupción

```
    [ ]  
    // vectores de interrupcion  
    ISR(TIMER1_CAPT_vect){  
        if (i==0){  
            ind='n';  
            t1=ICR1;  
            i=1;  
        }  
        else{  
            t2=ICR1-t1;  
            i=0;  
            TCNT1=0;  
        }  
    }  
    ISR(TIMER1_OVF_vect){  
        ind='d';  
    }  
}
```

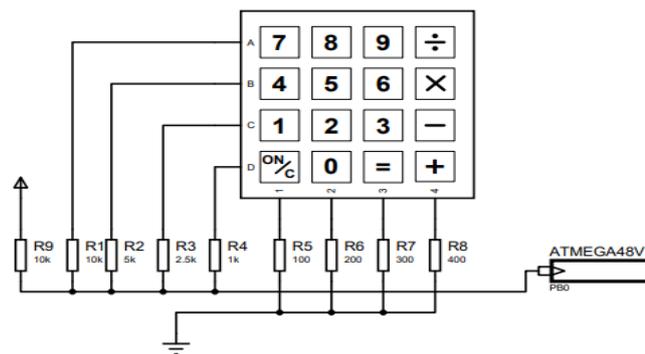
Fuente 34: Elaboración propia.

Donde:

- ICR1. Registro que contiene el valor captura TCNT1
- t2. variable declarada temporales que mide el ancho de pulso
- ind. Variable declarada para indicar que ocurrió un desborde en el contador.

En cuanto a las interfaces de entrada de control se utilizará un Keypad matricial de 4x4 más una red matricial de resistencias que estarán conectados a cada pinout del Keypad como se muestra en la figura 34.

Figura 34: Solo utilizaremos un pin analógico para interpretar el KeyPad 4x4



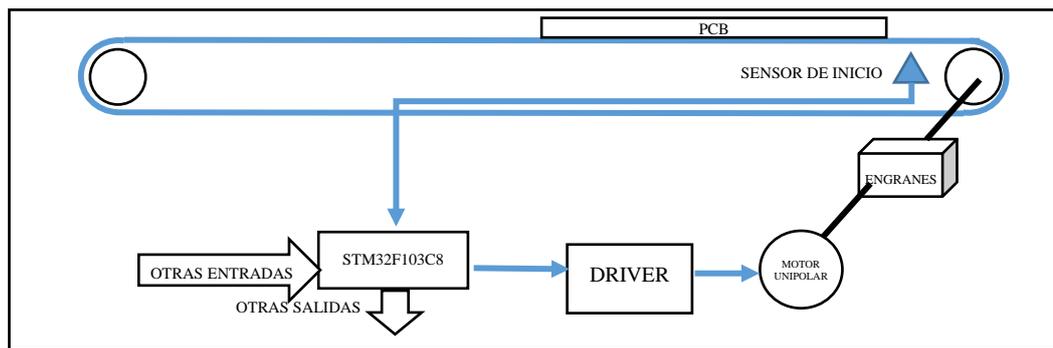
Fuente 35: Elaboración propia

De esta manera reducimos los puertos que se necesitarían para el KeyPad a un solo pin analógico que encargara de interpretar el Atmega48v. Para la interfaz de salida se utilizara un LCD alfanumerico de 16x2.

3.2.2.2. Recursos y lógica de control para el eje Y

El nivel de dificultad para esta coordenada es relativamente fácil, debido a que el motor unipolar y el reductor de engranes determinan el avance lineal del sistema, en la figura 35 se muestra el esquema de funcionamiento. Su principio de funcionamiento es como sigue; primero el Stm32f108c8 detecta el inicio en la dirección eje Y, para luego sumar los pasos necesarios que debe dar el motor para que se posiciones en un punto determinado

Figura 35: Desplazamiento eje y



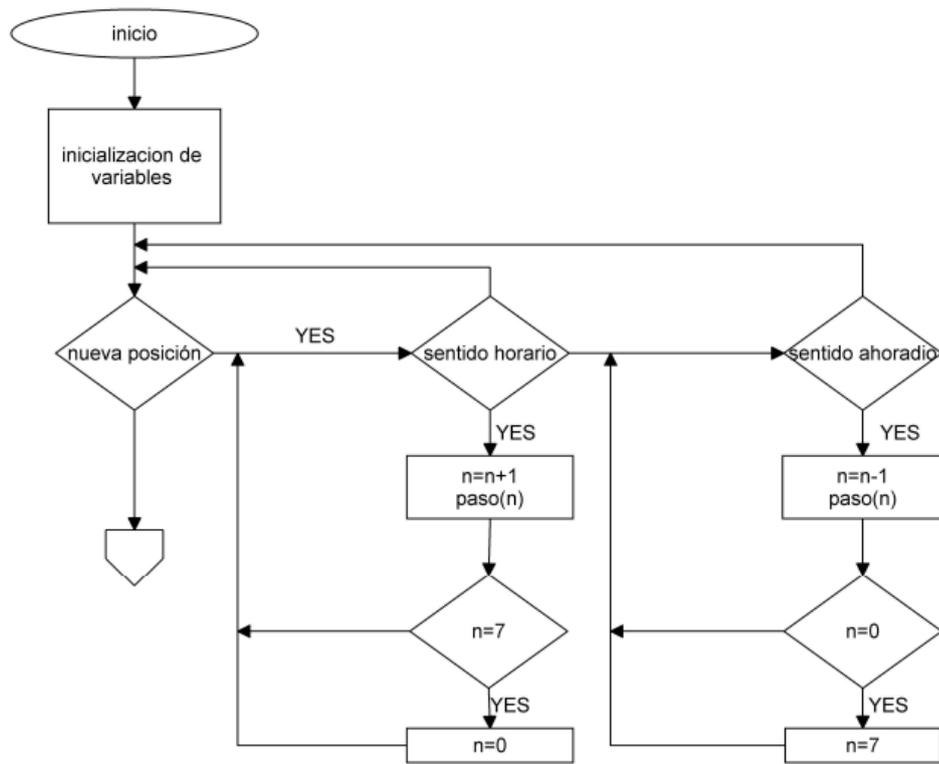
Fuente 36: Elaboración propia

3.2.2.2.1. *Logica de funcionamiento*

El motor unipolar es de fácil control, debido a que el motor gira de acuerdo a una ordenada secuencia de conmutación de sus terminales de conexión, tienen varios modos de secuencias de operación como de, paso-completo, medio-paso y micro-paso, en nuestro proyecto utilizaremos en de medio-paso dando como resultado a la cantidad de ocho pasos para completar el ciclo de la secuencia.

El Stm32f103c8 será el encargado de generar la secuencia de conmutación, por tener entre sus periféricos al contador (TIMx) avanzado. Este periférico cuenta con cuatro canales independientes y varias funciones avanzadas, para nuestro propósito solo utilizaremos la sub-función “PWM center-aligned mode” (STMicroelectronics, 2015, pág. 387) del modo PWM, que gobernara en su totalidad al motor unipolar. En la figura 36 se muestra un diagrama de flujo básico que ejecutara el microcontrolador ARM CORTEX M3 cuando un vector de interrupción es activado, la figura 37 se muestra las líneas de código que configura y la forma operaran dichos vectores.

Figura 36: Diagrama de flujo



Fuente 37: Elaboración propia

Figura 37: Configuración TIM4 como PWM

```
void init_pwm(void){// inicializacion y configuracion de perifericos
TIM_TimeBaseInitTypeDef timer4;
TIM_TimeBaseInitTypeDef* timer4confi=&timer4;
NVIC_InitTypeDef ip;
NVIC_InitTypeDef* interrup=&ip;
//configuracion del vector de interrupcion
interrup->NVIC_IRQChannel=TIM4_IRQn; //tipo de interrupciones
interrup->NVIC_IRQChannelPreemptionPriority=0;// nivel de prioridad
interrup->NVIC_IRQChannelSubPriority=2;
interrup->NVIC_IRQChannelCmd=ENABLE; //abilitacion de interrupcion
NVIC_Init(interrup);

GPIO_PortClock(GPIOB, ENABLE);
GPIO_PinConfigure(GPIOB,6,GPIO_AF_PUSH_PULL,GPIO_MODE_OUT2MHZ);
GPIO_PinConfigure(GPIOB,7,GPIO_AF_PUSH_PULL,GPIO_MODE_OUT2MHZ);
GPIO_PinConfigure(GPIOB,8,GPIO_AF_PUSH_PULL,GPIO_MODE_OUT2MHZ);
GPIO_PinConfigure(GPIOB,9,GPIO_AF_PUSH_PULL,GPIO_MODE_OUT2MHZ);
RCC_APB1PeriphClockCmd(RCC_APB1Periph_TIM4, ENABLE);
//configurando el timer 4
timer4confi->TIM_Prescaler=1200;
timer4confi->TIM_Period=0x00ff;//estableciendo con de 8 bit
timer4confi->TIM_CounterMode=TIM_CounterMode_Up;
timer4confi->TIM_ClockDivision=TIM_CKD_DIV1;
TIM_TimeBaseInit(TIM4,timer4confi);
//estableciendo timer como interno
TIM_InternalClockConfig(TIM4);
//configurando pwm modo 1 en mode manual con registros
//channel como salida ccxs[1:0]=00,PWM MODE 1,ENABLE PRELOAD,
TIM4->CCMR1|=TIM_CCMR1_OC1M_2|TIM_CCMR1_OC1M_1|TIM_CCMR1_OC2M_2|TIM_CCMR1_OC2M_1;
TIM4->CCMR1|=TIM_CCMR1_OC1PE|TIM_CCMR1_OC2PE;
TIM4->CCMR2|=TIM_CCMR2_OC3M_2|TIM_CCMR2_OC3M_1|TIM_CCMR2_OC4M_2|TIM_CCMR2_OC4M_1;
TIM4->CCMR2|=TIM_CCMR2_OC3PE|TIM_CCMR2_OC4PE;
//CONFIGURACION DE LA SALIDA
//ACTIVADO EL LOW,ABILITANDO SALIDAS
TIM4->CCER|=TIM_CCER_CC1P|TIM_CCER_CC2P|TIM_CCER_CC3P|TIM_CCER_CC4P;
TIM4->CCER|=TIM_CCER_CC1E|TIM_CCER_CC2E|TIM_CCER_CC3E|TIM_CCER_CC4E;
//ENABLE ARR REGISTER
TIM4->CCR1|=TIM_CR1_ARPE;
//CONFIGURANDO DECFCTOPE
```

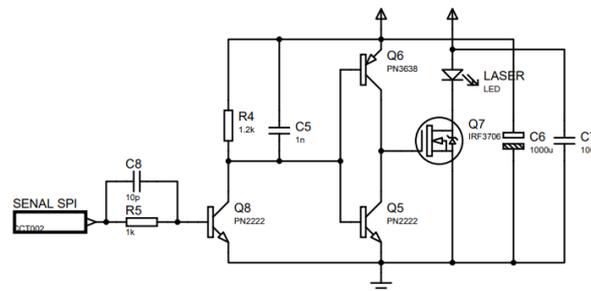
Fuente 38: Elaboración propia

3.2.2.3. Circuito de potencia para el diodo laser

La necesidad de tener una etapa de potencia que cumpla con los requerimientos de funcionamiento para el diodo laser, es primordial, este debe de tener la suficiente capacidad de proporcionar la potencia y la velocidad de conmutación a altas frecuencias, que entregara el microcontrolador Stm32f103c8 por el puerto seria SPI. Una de las principales causas a considerar para el diseño de la etapa de potencia para el diodo laser, es la velocidad que este debe de tener para el encendido y apagado, este problema se presenta por la capacitancia internas presentes en las uniones del semiconductor y el voltaje umbral, para superar el problema, nuestro diodo laser lo polarizaremos por encima del voltaje umbral y su circuito de excitación será tótem pole. En la siguiente

figura 38 se muestra nuestro circuito de excitación de compuerta que está constituido por un Mosfet, transistores y algunos componentes pasivos básicos.

Figura 38: Driver Tótem pole



Fuente 39: Elaboración propia

3.2.2.4. Lógica de control y comunicación para el laser

Esta etapa, es una de las más importantes de nuestro proyecto, es el encargado de recibir paquetes de datos que contienen la información de posicionamiento en las coordenada XY, el tiempo que se expondrá al haz laser y todos los puntos que se expondrán al haz laser. Muestra paquete de datos recibidos por el microcontrolador Stm32f103c8 tienen la siguiente estructura de información, como se muestra en la siguiente figura 39.

Figura 39: Paquete de dato recibido por el USB



Fuente 40: Elaboración Propia

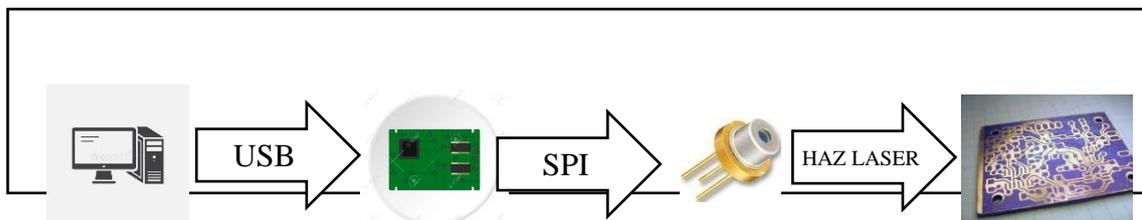
Donde:

- NP: nuevo paquete. Este es el encargado de saber si se recibió un nuevo paquete si NP es igual a 13, para otros valores significa que ya se envió por el puerto SPI.

- CEY: coordenadas eje Y. variable de 16 bits que contiene la ubicación para el eje Y
- TEDL: tiempo de exposicion del haz laser. Es el tiempo que se expondra el haz laser en dicha coordenada. Variable de 16 bits.
- CEX: coordenadas eje X. similar a CEY con eje X
- Data eje x: puntos que se expondran el haz en todo el eje X, esta variable matricial de 2300x8 bits que resulta 18400 bits de resolucion para una longitud 20 centimetros para la coordenada X. si un bits representa un punto en la direccion X entomces tenemos 92 puntos para realizar una linea de un milimetro de longitud.
- FP: finalizaciones del paquet

En la figura 40 se muestra un esquema simplificado.

Figura 40: Etapas del prototipo



Fuente 41: Elaboración propia

3.2.3. Programación firmware

3.2.3.1. Modo y WinUSB Stm32f103c8

Para la transferencia de grandes paquetes de datos por el puerto USB, se requiere seleccionar el modo más adecuada que debe de operar el protocolo USB, así como también la necesidad de un firmware con las funcionalidades que tendrá nuestra tarjeta electrónica de control. De los cuatro modos, utilizaremos el modo de transferencia masiva

(Bulk Transfers), con paquete de datos de 512 bytes, el Software de MicroVision de Keil, indica cuales son los archivos que configuran el dispositivo USB de las distintas formas de transferencias, en la figura 41 se muestra estructura y en la figura 42 se muestra una parte de nuestra configuración.

Figura 41: Estructura del dispositivo USB MicroVision

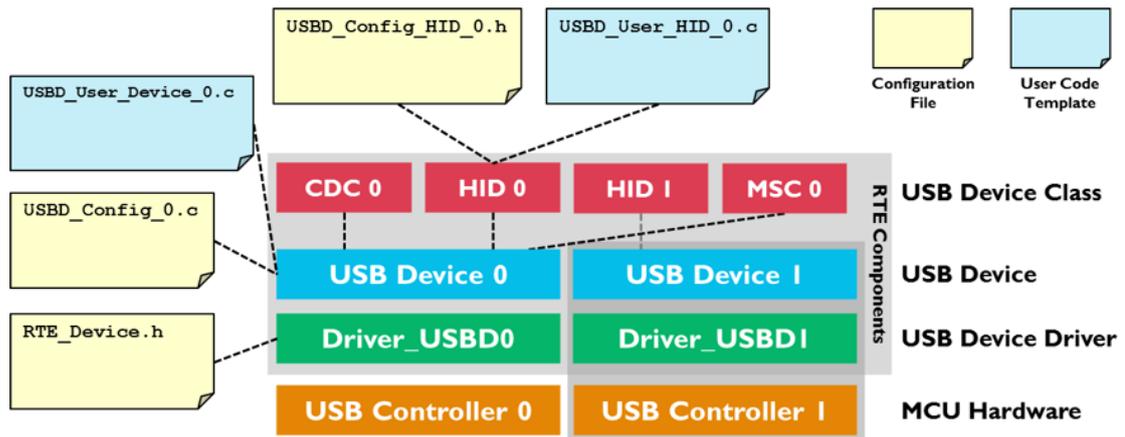


Figura 42: USB configuración

```

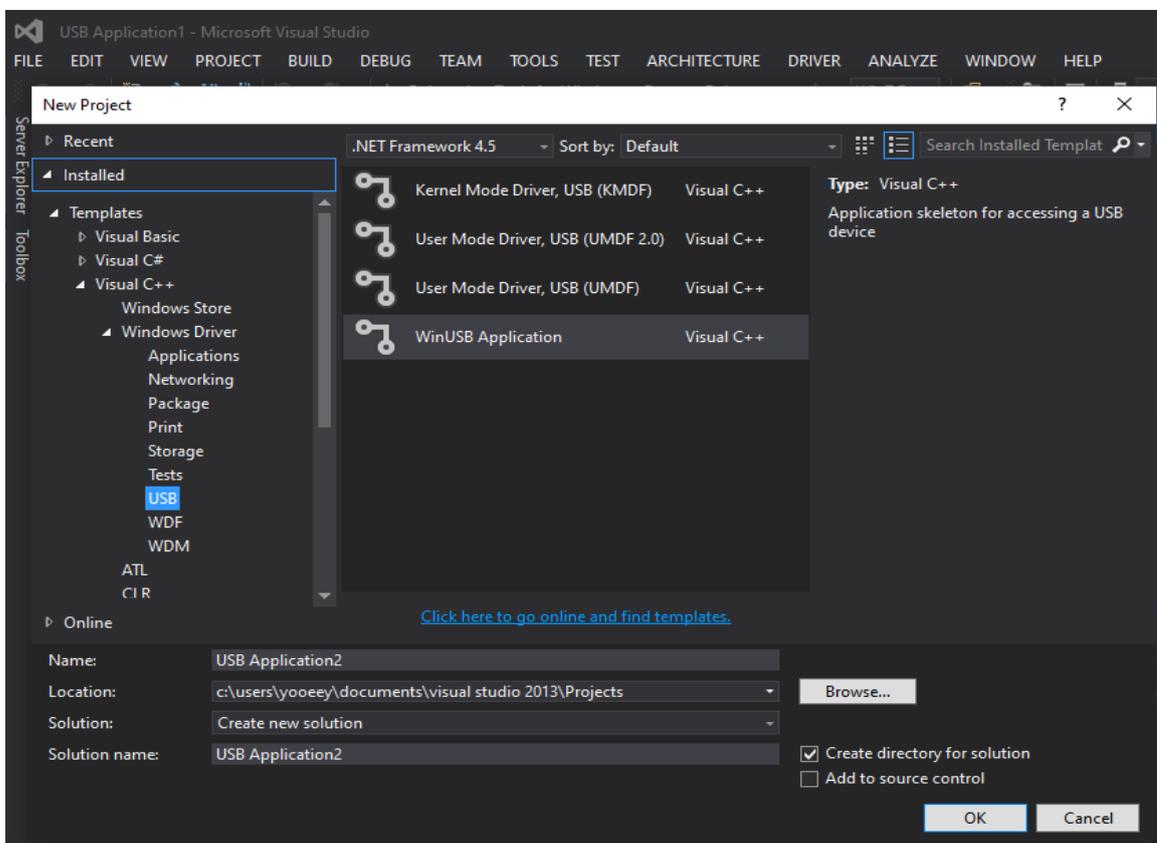
58
59 // <o.0..7>Maximum Power Consumption (in mA) <0-510><#/2>
60 // <i>Maximum Power Consumption of USB Device from bus in this
61 // <i>specific configuration when device is fully operational
62 #define USBBD0_CFG_DESC_BMAXPOWER 250
63
64 // </h>
65
66 // <h>String Settings
67 // <i>These settings are used to create the String Descriptor.
68 // <o.0..15>Language ID <0x0000-0xFCFF>
69 // <i>English (United States) = 0x0409.
70 #define USBBD0_STR_DESC_LANGID 0x0409
71
72 // <s.126>Manufacturer String
73 // <i>String Descriptor describing Manufacturer.
74 #define USBBD0_STR_DESC_MAN L"Keil Software"
75
76 // <s.126>Product String
77 // <i>String Descriptor describing Product.
78 #define USBBD0_STR_DESC_PROD L"USB yoeup"
79
80 // <e.0>Serial Number
81 // <i>Enable Serial Number String.
82 // <i>If disabled Serial Number String will not be assigned to
83 #define USBBD0_STR_DESC_SER_EN 0
84
85 // <s.126>Serial Number String
86 // <i>String Descriptor describing device's Serial Number.

```

Fuente 43: Elaboración propia

La cantidad de registros de configuración para un nuevo dispositivo por comunicación USB, complican en crear un firmware para sistema operativo de Windows, para facilitar la tarea, se utilizara “Windows Driver Kit” esta herramienta proporcionada por Windows facilitara la creación de nuevos driver para nuevos dispositivos USB, su lenguaje de programación está en C/C++ como se muestra en la figura 43, en esta existe plantillas configurables con los modos de transferencias más comunes, así como también, una guía de cómo utilizarlo.

Figura 43: Windows Driver Kit



Fuente 44: Elaboración propia

Figura 44: Configurando Driver

```
Signature = "$Windows NT$"
Class = USBDevice
ClassGUID = {88BAE032-5A81-49f0-BC3D-A4FF138216D6}
Provider = %ManufacturerName%
CatalogFile=USBApplication1winyoe1.cat

; ===== Manufacturer/Models sections =====

[Manufacturer]
%ManufacturerName% = Standard,NT$ARCH$

[Standard.NT$ARCH$]
%DeviceName% =USB_Install, USB\VID_04D8&PID_0011

; ===== Class definition =====

[ClassInstall32]
AddReg = ClassInstall_AddReg

[ClassInstall_AddReg]
HKR,,,%ClassName%
HKR,,NoInstallClass,,1
HKR,,IconPath,%REG_MULTI_SZ%, "%systemroot%\system32\setupapi.dll,-20"
HKR,,LowerLogoVersion,,5.2

; ===== Installation =====

[USB_Install]
Include=winusb.inf
Needs=WINUSB.NT

[USB_Install.Services]
Include=winusb.inf
AddService=WinUsb,0x00000002,WinUsb_ServiceInstall
```

Fuente 45: Elaboración propia

3.2.3.2. Modo y algoritmo SPI con DMA

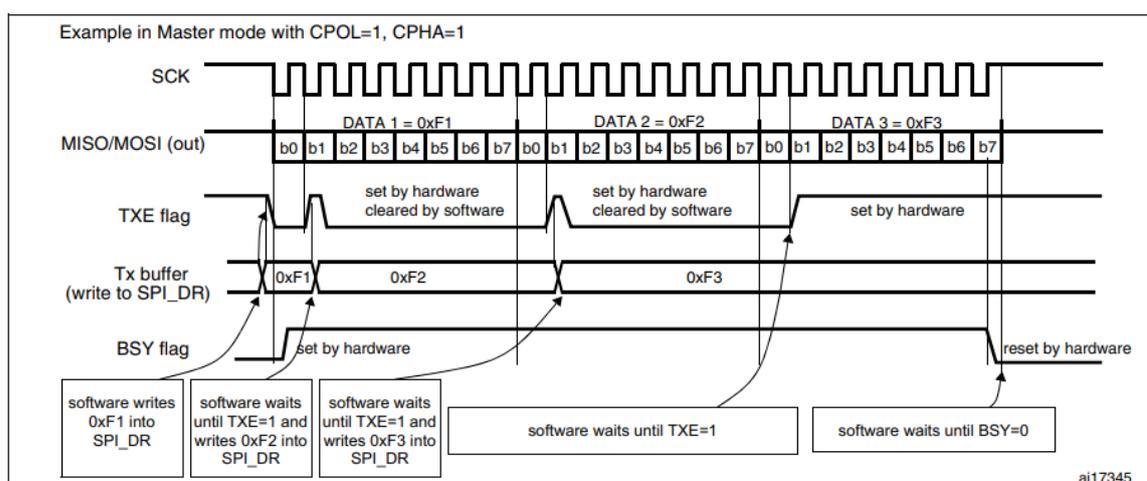
Esta parte importante es la que se encarga de imprimir con el láser UV al PCBs, los requerimientos importantes que este debe de cumplir son:

1. El tiempo que demora en transferir los datos bit por bits debe de ser igual en todo momento
2. La velocidad de transferencia de bit por segundo (b/t) debe de estar acorde al periodo del motor eje X
3. La transferencia de los 18400 bits por el puerto debe de ser continuo, hasta la siguiente nueva transferencia.

De las muchas formas de transferir seriamente, con las tres condiciones mencionadas, podemos decir que, si utilizamos cualquier puerto del MCU con un pin dedicado para transferir continuamente este consumirá mucho recurso de CPU y además no tendremos un total control del tiempo que este debe de tener. Solo nos queda utilizar algún periférico disponible que cumpla con el mayor número de requerimientos posibles, el único que cumple es el SPI en modo de “Transmit-only procedure (BIDIMODE = 0 RXONLY = 0)” (STMicroelectronics, 2015, pág. 715), este modo y con la configuración precisa, el consumo de CPU solo se utilizara en la carga de nuevos datos al registro SPI_DR para que inicia la transmisión, en la figura 45 se muestra una típica transmisión continua, donde la carga de nuevos datos, es realizado cuando el valor del bits TXE en el registro de estado del SPI (SPI_SR) es igual 1.

Para reducir a cero el consumo de recursos de CPU para el puerto SPI, se necesita una constante cargar automática del registro SPI_DR, para lograrlo, utilizaremos el DMA configurado en leer desde la dirección de la memoria y escribir en la dirección del registro periférico.

Figura 45: Transferencia continua seria

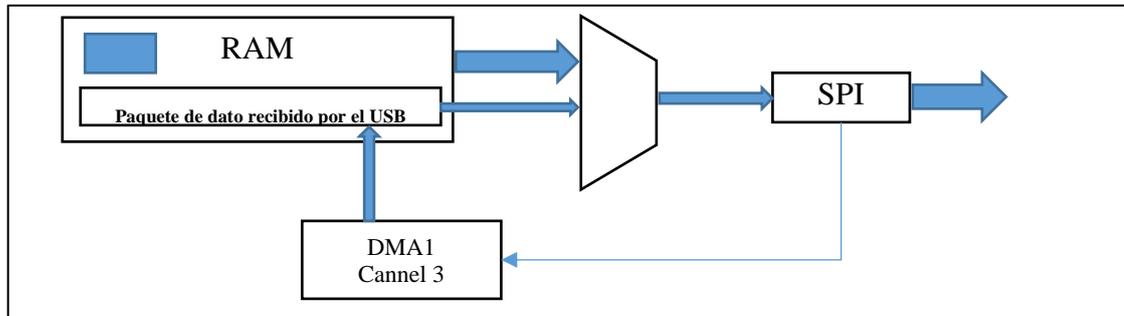


Fuente 46: (STMicroelectronics, 2015, pág. 715)

3.2.3.2.1. Configuración SPI con DMA

Del esquema de funcionamiento que se muestra en la figura 46, se procede con la configuración de los registros del SPI y DMA.

Figura 46: Carga de registros con DMA



Fuente 47: Elaboración propia

En la figura 47, se muestra todos los registros que se tienen que configurar, así como las direcciones de memoria y periférico

Figura 47: Configuración SPI y DMA

```
Project: firmware
├── Target 1
│   ├── Source Group 1
│   │   ├── firmwarerelease
│   │   ├── USB_D_User_C
│   │   ├── CMSIS
│   │   │   ├── RTX_CM3.lib
│   │   │   ├── RTX_Conf_CI
│   │   │   ├── CMSIS Driver
│   │   │   ├── USB_D_STM32
│   │   │   └── Device
│   │   │       ├── misc.c (StdP)
│   │   │       ├── stm32f10x_i2
│   │   │       ├── stm32f10x_rc
│   │   │       ├── stm32f10x_sj
│   │   │       ├── stm32f10x_ti
│   │   │       ├── GPIO_STM32
│   │   │       ├── RTE_Device.h
│   │   │       ├── startup_stm3
│   │   │       ├── stm32f10x_ci
│   │   │       ├── system_stm3
│   │   │       └── USB
│   │   └── USB_CM3_L1
│   └── USB_C
└── Target 1

356 void confi_spil_dma(void) {
357
358     //RCC_APB2PeriphClockCmd(RCC_APB2Periph_AFIO,ENABLE); //PARA REMAPEAR LAS SALIDAS
359     GPIO_PinConfigure(GPIOA,4,GPIO_AF_PUSHPULL,GPIO_MODE_OUT50MHZ); //nss
360     GPIO_PinConfigure(GPIOA,5,GPIO_AF_PUSHPULL,GPIO_MODE_OUT50MHZ); //sck
361     GPIO_PinConfigure(GPIOA,6,GPIO_IN_FLOATING,GPIO_MODE_INPUT); //miso
362     GPIO_PinConfigure(GPIOA,7,GPIO_AF_PUSHPULL,GPIO_MODE_OUT50MHZ); //mosi
363     RCC_AHBPeriphClockCmd(RCC_AHBPeriph_DMA1,ENABLE);
364     ///configuracion de DMA1 CHANEL 3 QUE CORRESTONDE A TX//////////
365     DMA1_Channel3->CPAR=(uint32_t)(APB2PERIPH_BASE + 0x3000+0x0C); //direccion del spi
366     DMA1_Channel3->CMAR=(uint32_t)(datain+10); // direccion buffer del USB
367     DMA1_Channel3->CNDTR=2300; //tamaño buffer
368     //CONFIGURACION CCR...Y ABILITACION leido desde memoria
369     DMA1_Channel3->CCR=DMA_CCR3_PL_0|DMA_CCR3_MINC|DMA_CCR3_DIR|DMA_CCR3_EN;
370
371     /*//CONFIGURACION DE CHANEL 2 QUE CORRESPONDE A RX/ leido desde periferico////
380     RCC_APB2PeriphClockCmd(RCC_APB2Periph_SPI1,ENABLE);
381     //SLAVE SELECT EN MODO CLASICO SSM=0,SSOE=0; EN CR1 Y CR2
382     //CPOL=0,CPHA=0,LSBFIRST=0,DFRF=0(8 BIT DEFAULT): EN CR1
383     //BR[2:0]=0x001(f/4),MSTR=1(MASTER SELECCION),SPE=1(ENABLE SPI);
384     SPI1->CR2=SPI_CR2_SSOE;
385     SPI1->CR1=SPI_CR1_BR_0|SPI_CR1_MSTR|SPI_CR1_SPE;
386     //avilitando solicitudes de dma
387     SPI1->CR2|=SPI_CR2_RXDMAEN|SPI_CR2_TXDMAEN;
388
389 }
```

Fuente 48: Elaboración propia

3.2.4. Programación aplicación

Muestro protagonista principal en esta parte del proyecto es el lenguaje de programación Visual Studio, entre sus principales funciones es:

- Establecer la comunicación USB
- Procesar los archivos Gerber de cualquier Software de diseño
- Codificar formas geométricas para el SPI desde un archivo Gerber

El desarrollo de la interfaz solo se implementara con funcionalidades básicas como; botones, entrada de textos y salidas en forma de texto, para monitorear algunas variables importantes.

3.2.4.1. Codificación y procesamiento de datos gerber

Solo se procesaran las geometrías básicas para que puedan ser interpretadas por nuestra tarjeta de control MCU Stm32f103c8, con estas geometrías básicas es posible construir nuestros PCBs casi al 98%, para nuestros prototipos de prueba, se creará un buffer principal llamado “u_buffer(10000, 3002)” de dos dimensiones que representará una imagen de nuestro PCB a imprimir por el puerto SPI, con Laser UV de 405nm, este buffer representa a un plano de dos dimensiones, en las que se tiene que llenar geometría por geometría con su respectiva coordenada de ubicación en el u_buffer(eje Y, eje X), en la figura 48 se muestra muchas variables declaradas que ayudan a procesar e interpretar cada geometría del archivo Gerber, como también se visualiza todo los archivos necesarios para el funcionamiento del proyecto.

Figura 48: Declaración de variables y archivos

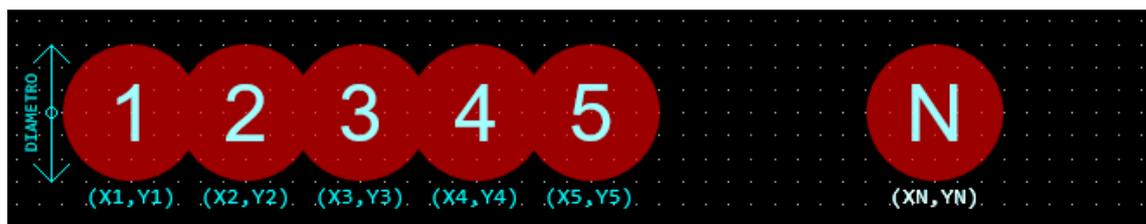
```
parametros_globales.vb*
parametros_globales (Declarations)
References
Module parametros_globales
    Public u_buffer(10000, 3002) As Byte ' datos que se envian al SPI
    Public ultra_buffer(10000, 3002) As Byte
    Public mini_gra(,) As Byte 'solo por propositos de impresion
    Public poligo_x() As Integer
    Public poligo_y() As Integer
    Public pol_i As Integer
    Public comentario As String
    Public fs_ejex_d As Integer
    Public fs_ejey_d As Integer
    Public LPC_D As Boolean = False
    Public fs_mo As Byte
    Public ad_d() As Integer
    Public sad_d() As Integer
    Public ad_macro() As Char
    Public ad_mmacro(1) As Integer
    Public n_apertura As Integer 'extraccion numero de apertura, mo
    Public spxy(1) As Integer
    Public calibracion As Integer = 480 ' variable de calibracion
    Public ejey As Integer
End Module
```

Fuente 49: Elaboración propia

3.2.4.1.1. Función para trazado de línea

El principio aplicado para trazar una línea, será en la utilización de varios círculos contiguos de diámetro “d” para el grosor de la línea y su centro de cada círculo como las coordenadas de trazado de la línea, en la figura 49 se muestran el principio para crear líneas. Si se acorta las distancias de separación de sus centros de cada círculo se aproxima cada vez más a una línea con un ancho “d”, de esta manera que crea la función para crear líneas con 3 parámetros principales que son; el diámetro, las coordenadas de inicio y final.

Figura 49: Principio para crear líneas



Fuente 50: Elaboración propia

El principal objetivo de la función es determinar todos los puntos que existen entre el punto inicio y final, una vez determinado dichos puntos se procede a invocar la siguiente función que crea un círculo por cada punto existente de la línea, en la figura 50 se muestra una parte de la función línea.

Figura 50: Código de la función línea

```
TESTPROCESOR_LINEA.vb* x TESTPROCESOR_CIRCULO.vb parametros_globales.vb*
TESTPROCESOR_LINEA ma_linea
''' <returns></returns>
''' <remarks></remarks>
1 reference
Public Function ma_linea(ByRef xy_0() As Integer, ByRef xy_1() As Integer, ByRef r As Double, ByRef ref As Byte)
    Dim v As Integer

    ax = xy_1(0) - xy_0(0) 'coordenadas inicial y final
    ay = xy_1(1) - xy_0(1)

    Dim linea_gra As New TESTPROCESOR_MACROS
    Dim xy(1) As Integer

    If (ax = 0) Then
        If (ref = 2) Then
            v = 4
        ElseIf (ref = 1) Then
            v = 3
        Else
            v = ref
        End If
    End If
    If (ay <> 0) Then
        While (y <> xy_1(1))
            j = j + (ay / Abs(ay))
            y = j + xy_0(1)
            x = (ax / ay) * j + xy_0(0)
            xy(0) = x
            xy(1) = y
            linea_gra.mm_circulo(xy, r, v) 'circulo para el punto xy
        End While
    End If
    ElseIf (Abs(ay) > Abs(ax)) Then
        #if (not defined(1))
    End If
End Function
```

Fuente 51: Elaboración propia

3.2.4.1.2. Función para trazado del círculo

De la figura 49 se puede visualizar que existen 29 puntos que forman parte de un círculo, estos puntos representan direcciones de memoria (en nuestro caso u_buffer (eje Y, eje X)) que deben de estar cargados con un valor que los represente, por consiguiente nuestra función circulo determinara todos los puntos de deben de ser cargados a nuestro u_buffer (y, x), empleando ecuaciones de segundo grado para el círculo, como se muestra en la figura 51.

Figura 51: Determinación de todos los puntos para formar un círculo

```
TESTPROCESOR_LINEA.vb* TESTPROCESOR_CIRCULO.vb* parametros_globales.vb* TESTPROCESOR_MACROS.vb*
TESTPROCESOR_CIRCULO
1 reference
Public Sub obteniendo_c_parametros(ByVal xy() As Integer, ByRef datax(,) As Integer, ByRef datax1(,) As Integer,
ByRef datay() As Integer, ByVal r As Double, ByVal refe As Byte)

    Dim i As Integer
    Dim ri As Integer = CInt(r)
    xy.CopyTo(cor_tes, 0)
    resolu_r = CInt(2 * (r) + 0.4) '2*r = diametro del circulo
    ReDim lh(resolu_r) 'ejex afectados procesados por el radio
    ReDim datay(resolu_r) 'ejey; coordenada real asignada por el radio

    While (i < resolu_r)
        'extrayendo la longitud de ejex por medio de la ecuacion del circulo
        lh(i) = CInt((Sqrt(ri ^ 2 - (ri - i) ^ 2) * relacion_xy(refe)))
        datay(i) = CInt(xy(1) + ri - i)
        i += 1
    End While
    lmax = lh.Max 'valor solo para determinar el rango de la matriz

    asignacion_a_m(datax, datax1)
End Sub

funcion para obtener la mapa de bytes de circulo
1 reference
Private Function asignacion_a_m(ByRef datax(,) As Integer, ByRef datax1(,) As Integer) As Boolean
```

Fuente 52: Elaboración propia

Una vez determinado los puntos, estos tienen que ser cargados hacia una matriz de dos dimensiones, para luego cargar a u_buffer (y, x), esta tarea es realizada por la siguiente función mostrada en la figura 52, en ella se aplican operaciones lógicas, desplazamiento de registros y el resto de una división.

Figura 52: Asignación a memoria

```
TESTPROCESOR_LINEA.vb* TESTPROCESOR_CIRCULO.vb* parametros_globales.vb* TESTPROCESOR_MACROS.vb*
TESTPROCESOR_CIRCULO
  asignacion_a_m
End Sub
funcion para obtener la mapa de bytes de circulo
1 reference
Private Function asignacion_a_m(ByRef datax(,) As Integer, ByRef datax1(,) As Byte) As Boolean

    Dim i As Integer = 0
    Dim j As Integer = 0
    Dim succ As Boolean = True 'asignacion de prueba
    ReDim datax(resolu_r, (2 * lmax) \ 8 + 1) 'asignando el tamaño de la matriz
    ReDim datax1(resolu_r, (2 * lmax) \ 8 + 1)
    While (i < resolu_r) 'coordenadas y
        While (j < 2 * lh(i)) 'coordenadas ejex en bytes analizar
            'indice de la matriz direccion real eje x solo avanza cuando es multiplo de 8 porque se desplaza en bits,
            'con asignacion de la direccion ejex en bytes
            datax(i, (((cor_tes(0) - lh(i)) Mod 8) + j) \ 8) = (cor_tes(0) - lh(i) + j) \ 8
            'indice de la matriz solo avanza cuando es multiplo de 8 con asignacion
            'de la (direccion + j)%8
            datax1(i, (((cor_tes(0) - lh(i)) Mod 8) + j) \ 8) = datax1(i, (((cor_tes(0) - lh(i)) Mod 8) + j) \ 8) _
                Or asic(CByte((cor_tes(0) - lh(i) + j) Mod 8))

            j += 1
        End While
        j = 0
        i += 1
    End While

    Return succ
End Function
```

Fuente 53: Elaboración propia

3.2.4.1.3. Función para trazado del rectángulo

El principio es similar al de círculo con la diferencia de sus ecuaciones que determinan sus áreas, esta ecuación es de fácil interpretación, para su función solo se necesitan las magnitudes de sus lados y su coordenada de ubicación, en la figura 53 se muestra su código de implementación.

Figura 53: Código para el rectángulo

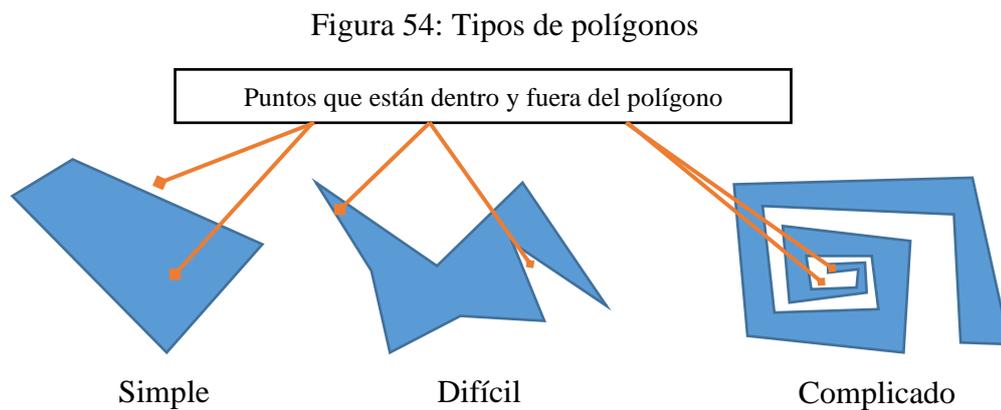
```
Public Sub obteniendo_l_parametros(ByVal xy() As Integer, ByRef datax(,) As Integer, ByRef datax1(,) As Byte, _
    ByRef datay() As Integer, ByVal ax As Integer, ByVal ay As Integer)

    ReDim datax(ay, ax \ 8 + 1)
    ReDim datay(ay)
    ReDim datax1(ay, ax \ 8 + 1)
    For j = 0 To ay
        datay(j) = xy(1) - ay \ 2 + j
        For i = 0 To ax
            datax(j, (((xy(0) - ax \ 2) Mod 8) + i) \ 8) = (xy(0) - ax \ 2 + i) \ 8
            datax1(j, (((xy(0) - ax \ 2) Mod 8) + i) \ 8) = datax1(j, (((xy(0) - ax \ 2) Mod 8) + i) \ 8) _
                Or asic(CByte((xy(0) - ax \ 2 + i) Mod 8))
        Next
    Next
End Sub
```

Fuente 54: Elaboración propia

3.2.4.1.4. Función para trazado del polígono

Fue difícil implementar esta parte de código para el polígono, porque el archivo Gerber nos da solo las líneas del contorno para luego rellenar o para quitar la geometría del polígono al PCB, además el algoritmo para determinar si un punto se encuentra dentro del polígono fue tedioso, en la figura 54 se muestra varios casos donde un punto no forma parte del polígono.



Fuente 55: Elaboración propia

Para poder determinar si los puntos pertenecen al polígono o no, se crearon dos procesos funcionales, uno para graficar todo el contorno del polígono inscrito en un rectángulo y el otro para determinar qué puntos dentro del rectángulo están dentro del polígono, en la figura 55 se muestra una parte del código implementado.

Figura 55: Código que determina las dimensiones del rectángulo a utilizar

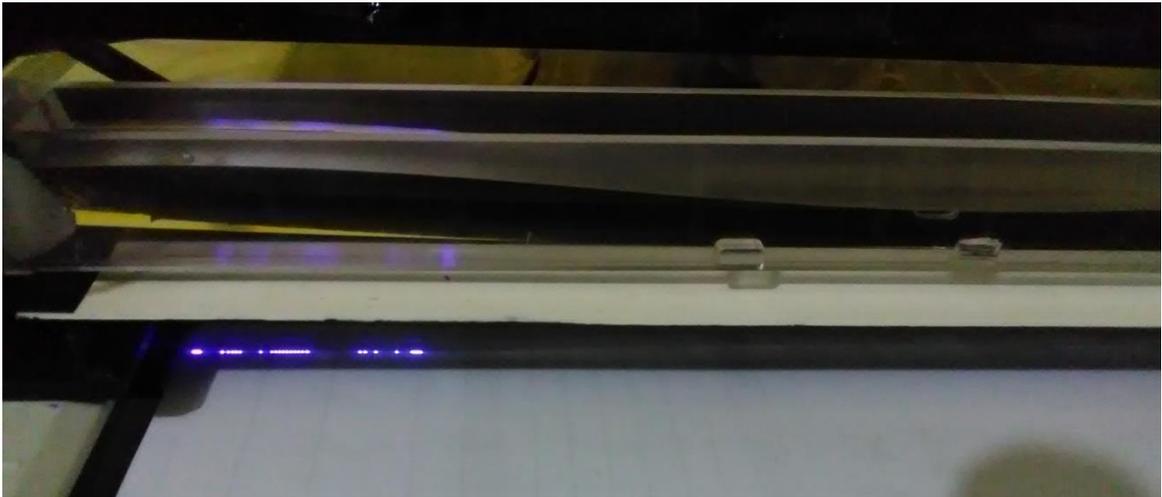
```
Dim j As Integer = 0
ax = poligo_x.Max
ax = ax + 3 - poligo_x.Min
ay = poligo_y.Max
ay = ay + 3 - poligo_y.Min
ReDim mini_gra(ax, ay)

'llenando poligono
While (x <= ax) '
  While (y <= ay) '255255255255...255255255255
    If (x = 0 Or x = ax) Then '2551 1 1 ...1 1 1 255
      mini_gra(x, y) = &H30 '2551 1 1 ...1 1 1 255
    Else '2551 1 1 ...1 1 1 255
      If (y = 0 Or y = ay) Then '2551 1 1 ...1 1 1 255
        mini_gra(x, y) = &H30 '255255255255...255255255255
      Else
        mini_gra(x, y) = &H38
      End If
    End If
  End While
End While
```

Fuente 56: Elaboración propia

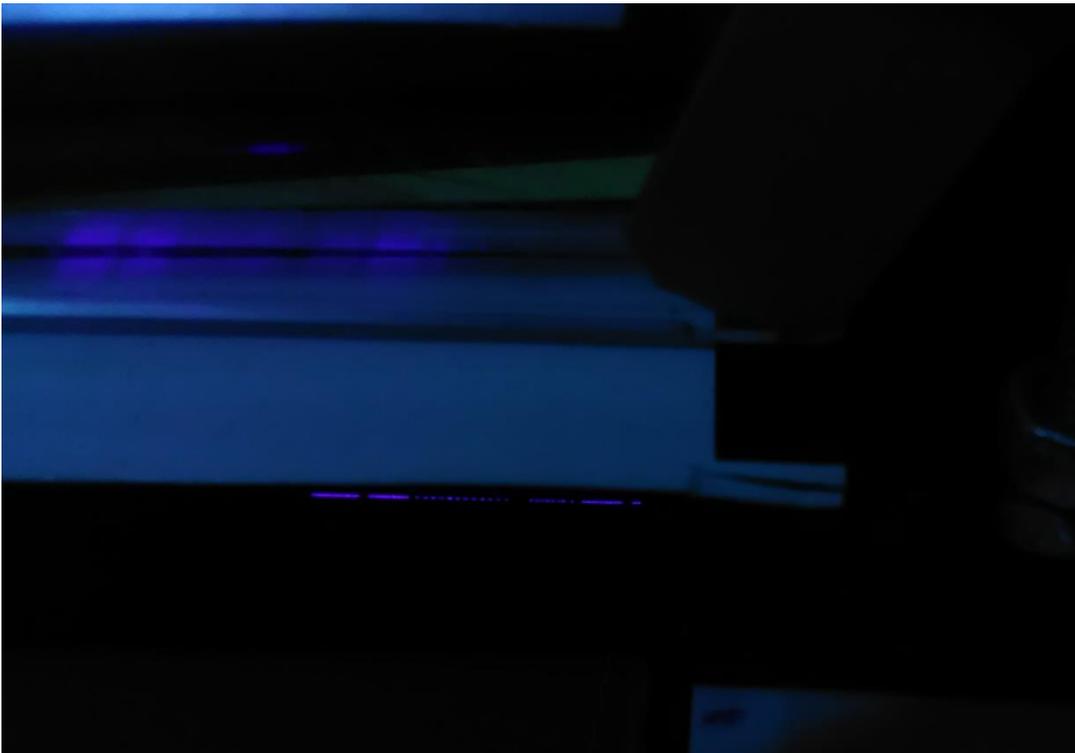
En la siguiente figura 56 se muestra el polígono cargado en la memoria para luego enviar al MCU, en donde el números “8” representan los contornos del rectángulo, el número ”9” para los contornos del polígono y “1” para el llenado.

Figura 57: Calibración de coordenadas



Fuente 58: Elaboración propia

Figura 58: Calibración enfoque del haz laser



Fuente 59: Elaboración propia



En la calibración de coordenadas, solo tenemos que establecer cuantos pasos dados por el motor unipolar equivale a un milímetro, así como también cuantos bits enviados por el SPI equivales a un milímetro. Para una velocidad de 12Mbits/s y si al motor con espejos poligonal le toma en recorrer un Angulo de 60° en 17238 pulsos de 8Mhz se obtuvieron las siguientes constantes que equivalen a un 1 mm mostrado en la figura 59 la justificación de estas velocidades se demuestra a continuación: si necesitamos enviar 2310 bites que representan la longitud máxima de nuestra coordenada eje “X”, el tiempo que demora es:

$$V_{bit} = \frac{12000000}{s} = \frac{bits}{t} = \frac{2310*8}{t} \quad (4)$$

De la Ecuación 4 despejamos t;

$$t = \frac{18480}{12000000} s = 0.00154s = 1.54ms \quad (5)$$

De esta manera el “tiempo que debe de demorar en desplazar un Angulo” (TA) de 60° debe de ser mayor a 1.54 ms, como se muestra en la figura 31. Para el motor se tiene:

$$\frac{pulsos}{segundo} = \frac{17238}{8000000/s} = 0.002154s = 2.15ms \quad (6)$$

La condición se cumple ya que la ecuación 6 es mayor a la ecuación 5

Figura 59: Constantes que equivalen a 1mm

```
Dim macro_select As Integer
Dim li_m As New TESTPROCESOR__MACROS
Dim li_io As New IO_GESION_ARCHIVOS
Const c As Integer = 9680 'punto central
Const cm As Integer = 886 '1cm = 715 cambiado

'extrayendoo puntos 4e trazado de lineas
If (fs_mo = 1) Then 'fs_mo=medidas en pulgadas 'comvercion a milime
    xydo(0) = (ejei(0) / fs_ejex_d) * 2.54 * cm
    xydo(1) = (ejei(1) / fs_ejey_d) * 2.54 * 471 '1219.2 estaba,modif
ElseIf (fs_mo = 2) Then
    xydo(0) = (ejei(0) / fs_ejex_d) * 88.6 '88.6 bits SPI = 1mm
    xydo(1) = (ejei(1) / fs_ejey_d) * 47.1 '47.1 pasos unipolar = 1mm
Else
    MsgBox("dimencion de medida no esablesida")
End If
```

Fuente 60: Elaboración propia

De la figura 59 se puede determinar, que para tener más puntos dentro de un milímetro, se tiene que disminuir el ángulo por cada paso que da el motor unipolar o aumentar la relación de engranes, para el caso de SPI solo se tiene que aumentar la velocidad bits/s. Para nuestro proyecto utilizaremos las constantes de la figura 59, que nos permite movimientos de:

$$\frac{1mm}{88.6} = 0.01128 \cong 11.3\mu m$$

Para la coordenada X, y para Y:

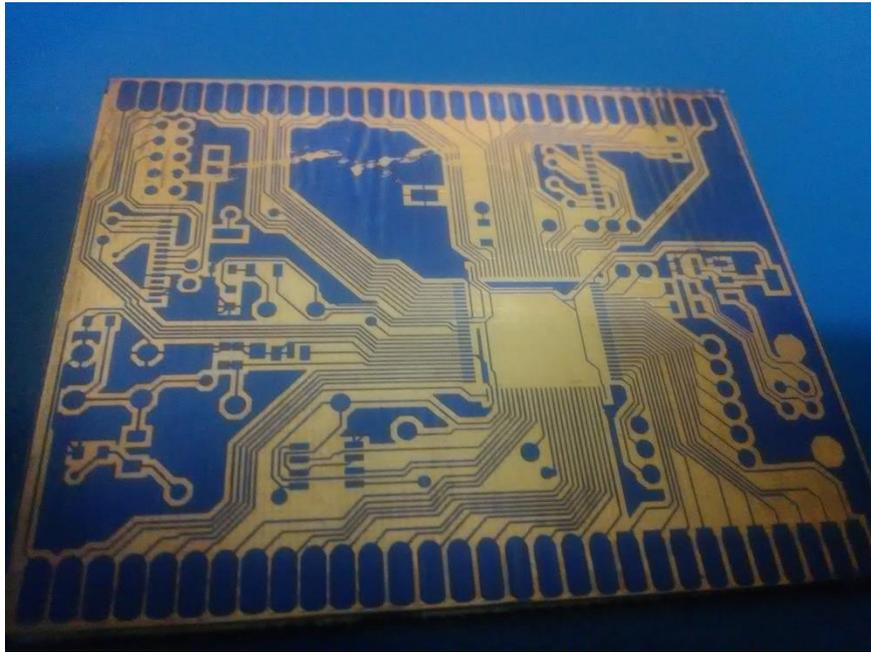
$$\frac{1mm}{47.1} = 0.0212 \cong 21.0\mu m$$

3.3.1. Pruebas de impresión láser al PCB

Para realizar estas pruebas y las siguientes, se diseñaron varias tarjetas de circuito electrónico con características para circuitos integrados SMD, el Software que utilizamos

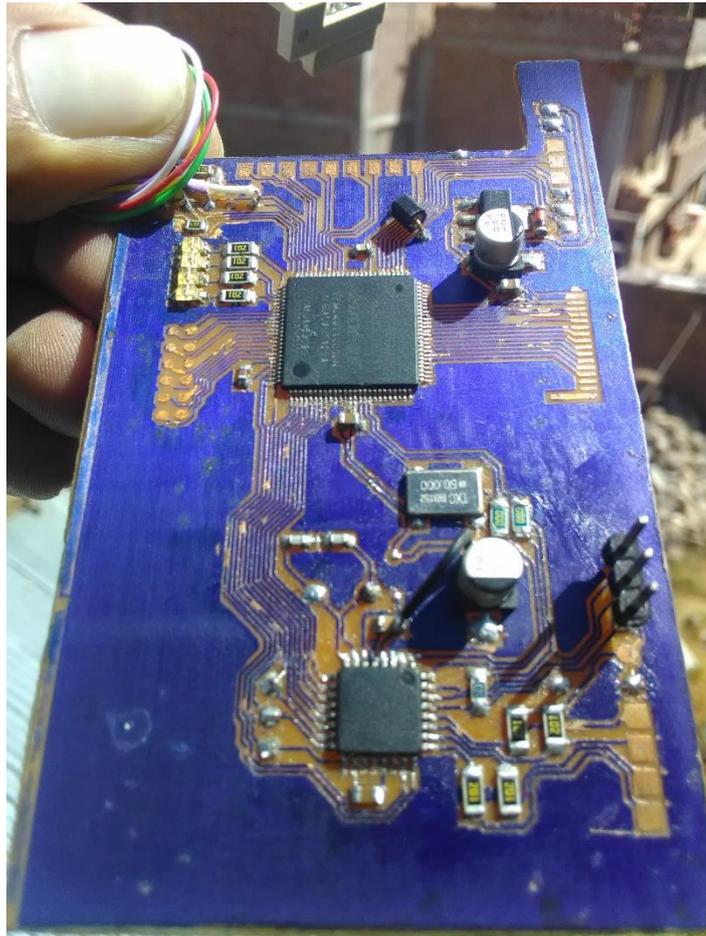
es el Proteus 8, por ser la más utilizada en nuestra escuela EPIE. Para determinar si sus dimensiones son correctas de nuestros PCBs, algunos se ensamblaron con Chip de 32 y 100 pines al PCB para ver si encajaban a primera vista, en la figura 60 y figura 61 se muestra algunos ejemplos.

Figura 60: Tarjeta electrónica para un chip de 100 pines



Fuente 61: Elaboración propia

Figura 61: Tarjeta ensamblado para pruebas

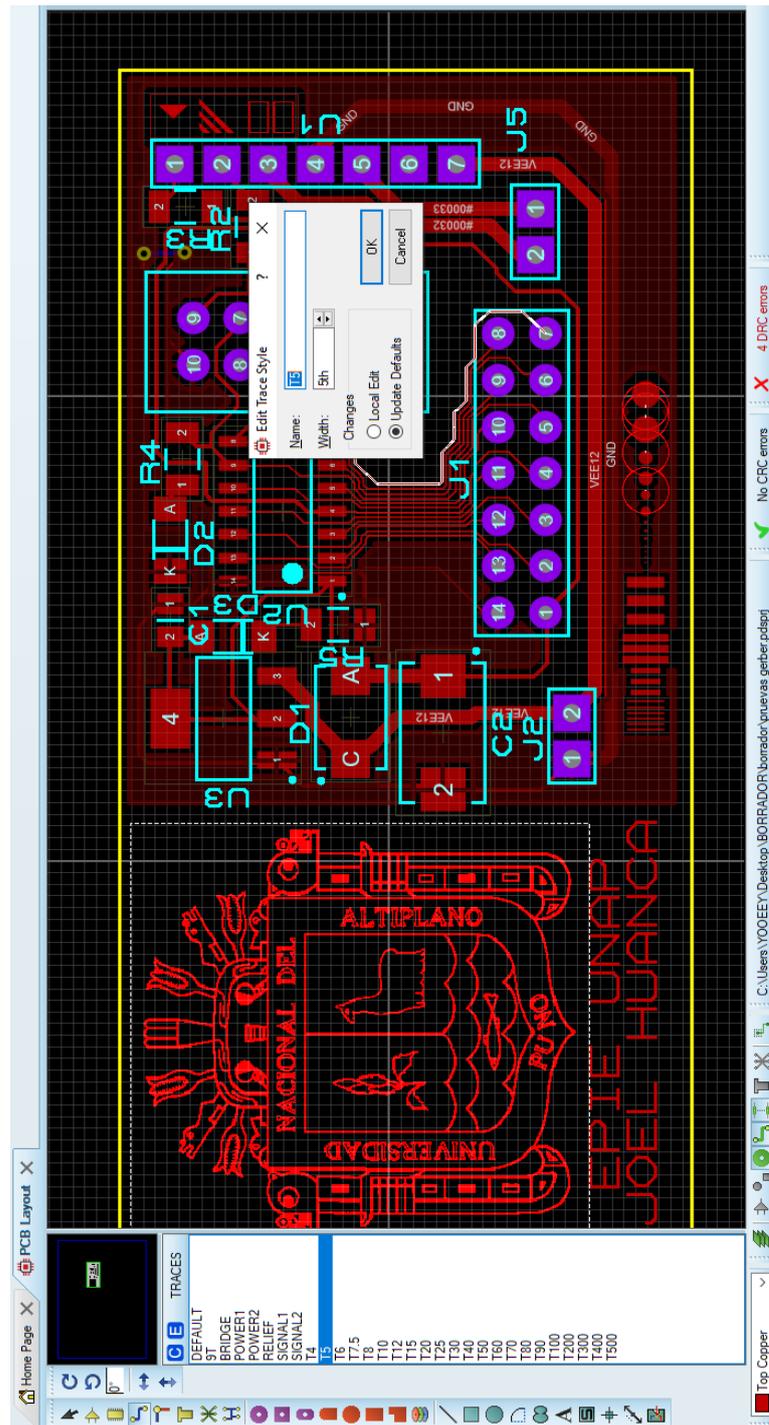


Fuente 62: Elaboración propia

En la figura 61 se diseñó un PCB para un Chip de ALTERA de 100 pines y para un ATMEGA88, pero en esta vez se ensamblaron.

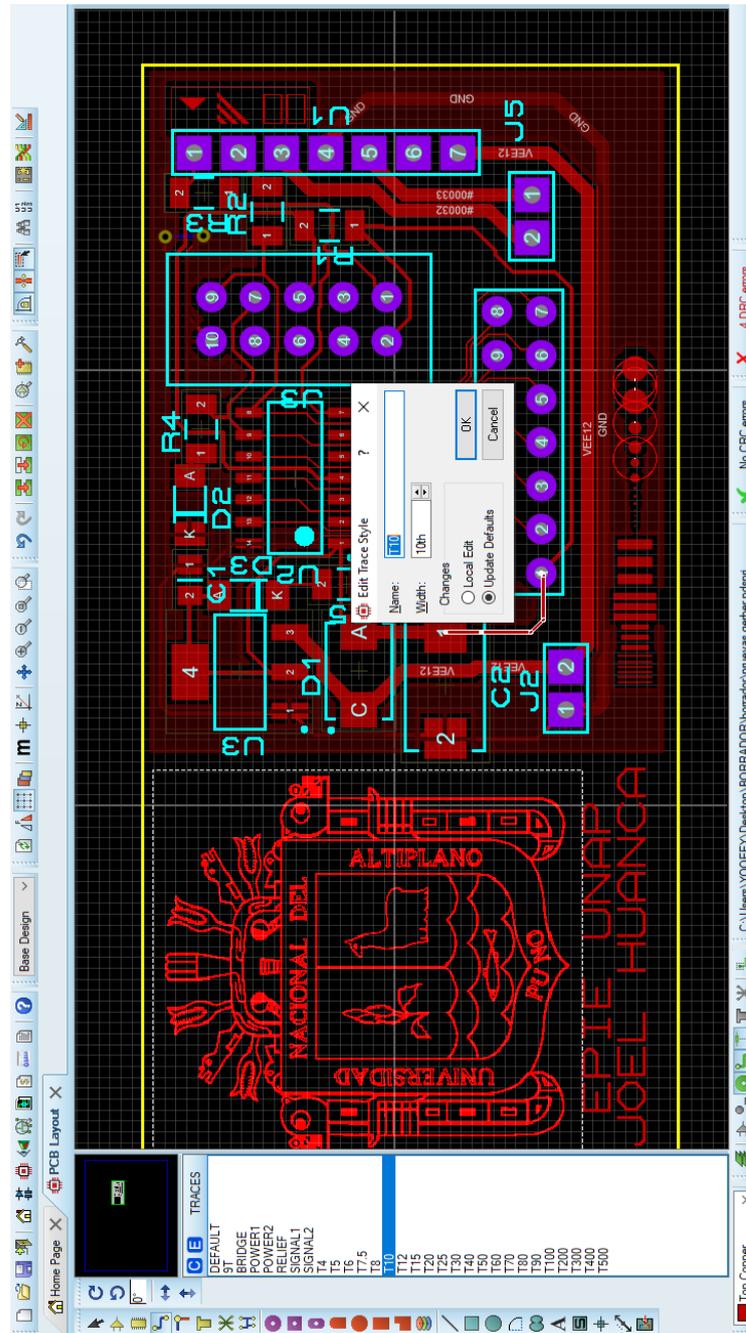
El siguiente diseño que se muestra en la figura 62 es la que se utilizara para crear líneas de 127 micrómetros de ancho, así como también la distinta pista con diferentes medidas, para pruebas.

Figura 62: Diseño con líneas de 5th de ancho



Fuente 63: Elaboración propia

Figura 63: Diseño con líneas de 10th de ancho



Fuente 64: Elaboración propia

Las medidas que se muestran en las figuras 62 y 63, están en milésimas de pulgadas, su equivalencia a milímetros es la siguiente:

$$1\text{pulg} = 1" = 2.54\text{cm}$$

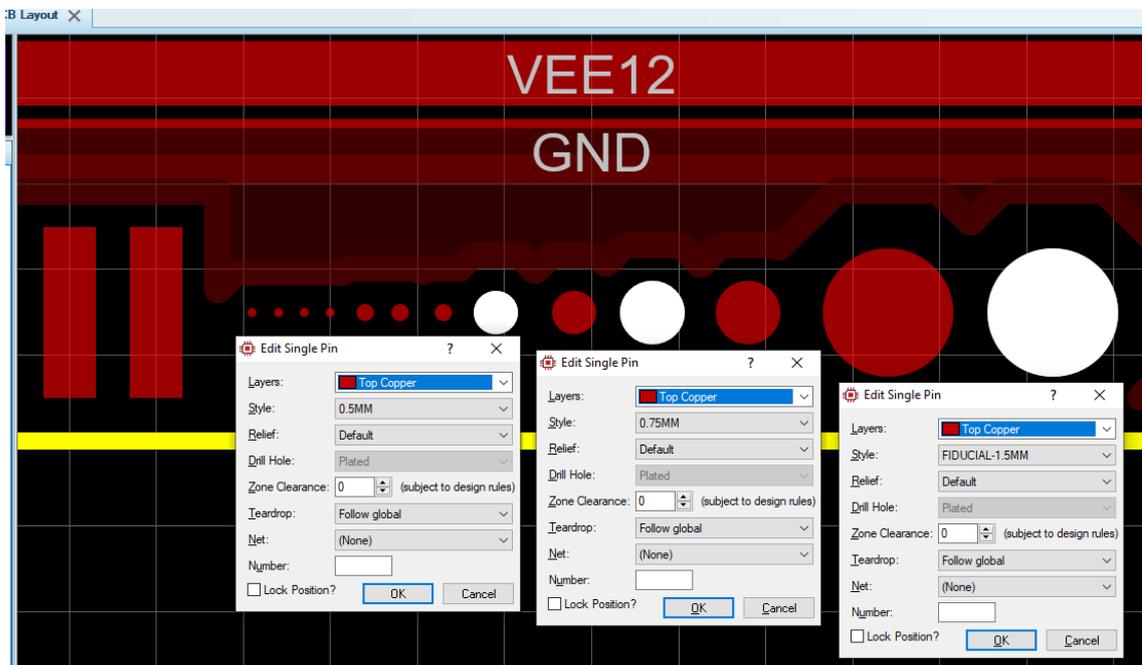
$$0.005" = 5th = 0.127mm = 127\mu m$$

$$0.010" = 10th = 0.254mm = 254\mu m$$

3.3.2. Dibujos geométricos para pruebas de parámetros

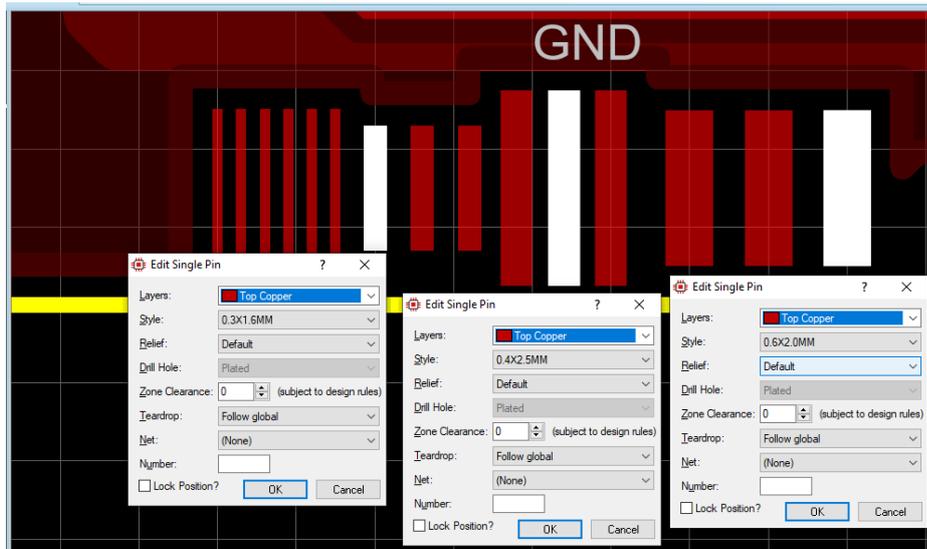
Las pruebas se realizaron en tres figuras geométricas, en el círculo, el cuadrado y el rectángulo, como se muestran en las figuras 64 al 66 en las cuales se realizan las comparaciones con las figuras 67 al 100.

Figura 64: Distintos diámetros de prueba



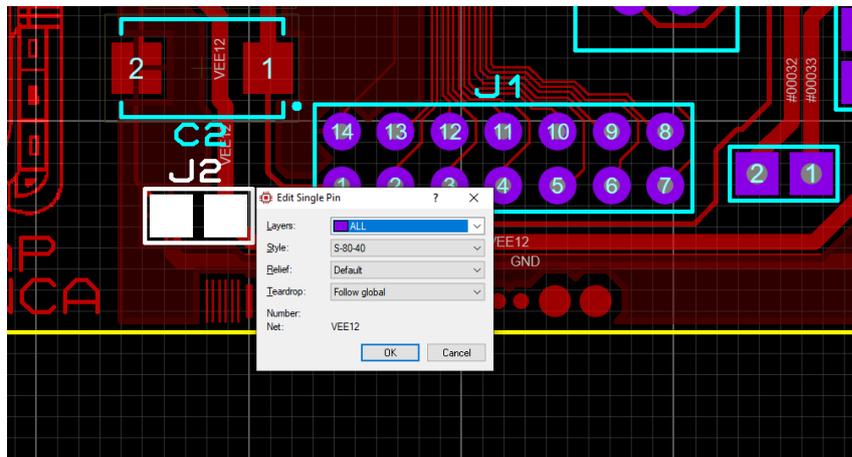
Fuente 65: Elaboración propia

Figura 65: Distintas dimensiones de rectángulos



Fuente 66: Elaboración propia

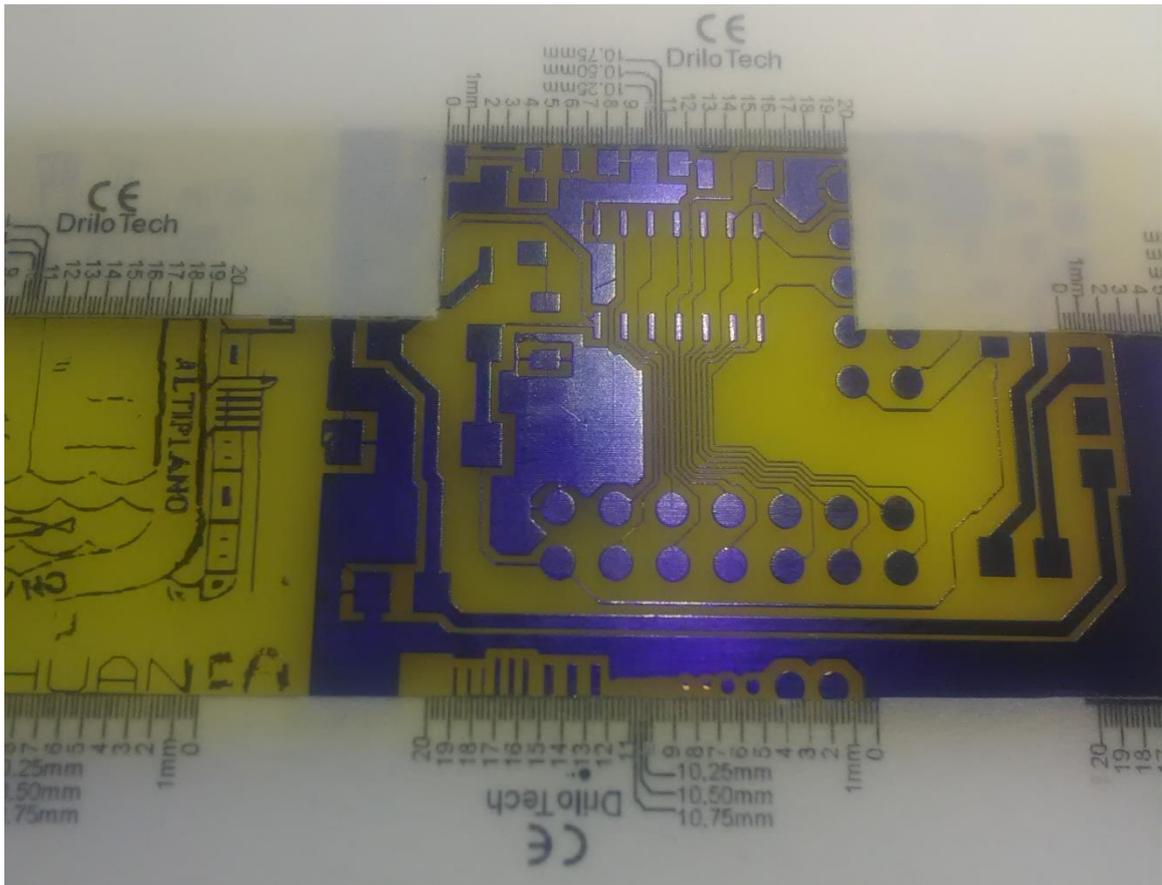
Figura 66: Cuadrado de longitud de 80MIL (2 mm) de lado



Fuente 67: Elaboración propia

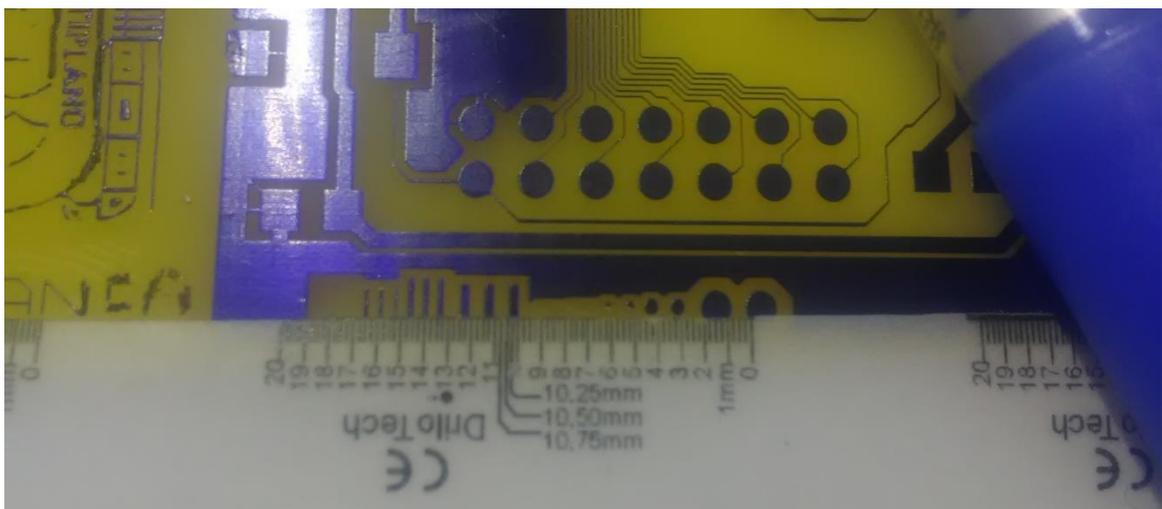
En las siguientes imágenes a continuación son tomadas para la realizar las comparaciones con las figuras anteriores mostradas.

Figura 67: Figuras geométricas del PCB, con una hoja milimétrica



Fuente 68: Elaboración propia

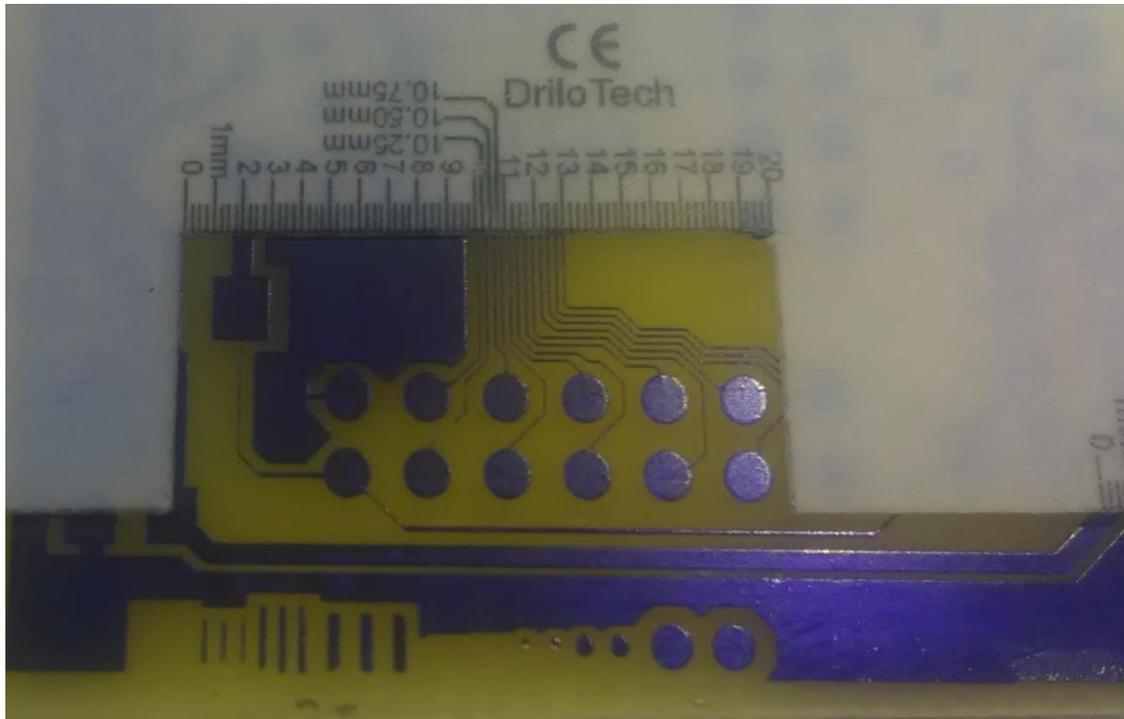
Figura 68: Tomando medidas del círculo y del rectángulo



Fuente 69: Elaboración propia

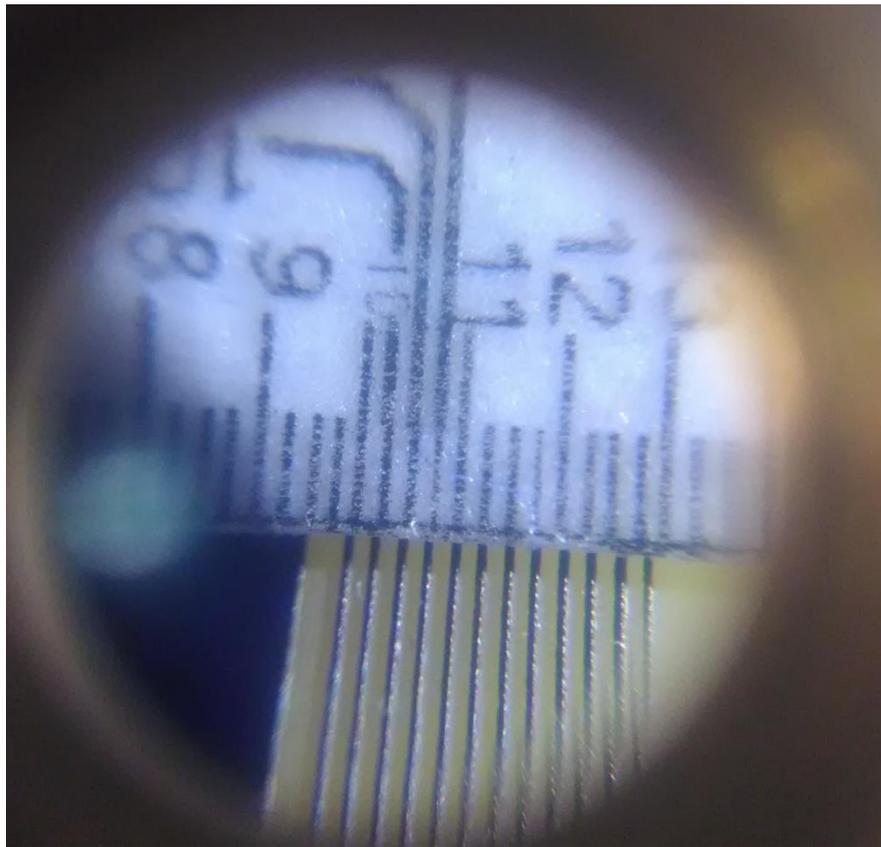
Para poder visualizar las medidas de las líneas más delgadas, lo ampliaremos con un lente de ampliación de x5.

Figura 69: 12 pistas de conexión en 3 mm de ancho



Fuente 70: Elaboración propia

Figura 70: Vista ampliada de las, micro pistas



Fuente 71: Elaboración propia

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

Para la prueba de hipótesis, se recolecto las medidas de varias muestras realizadas por el prototipo, todos estos datos se procesaron con fórmulas estadísticos para luego realizar comparaciones con el ancho teórico de línea que se muestra en el diseño de la figura 62. Mientras que la medida experimental se consideró los PCBs impresos por el prototipo con diodo laser de 405nm controlado por el protocolo SPI de un microcontrolador STM32f103c8, con la utilización del (DMA) como se muestra en la figura 67 hasta la figura 70. En la tabla 2 se aplica la formula (1) de la ecuación de error como se muestra a continuación.

Tabla 2: Dimensiones de prueba

Número de pruebas	Valor experimental (μm)	Valor teórico 5th ($127\mu\text{m}$)	Diferencia de medida (μm) (Error)
1	129.6	127	2.6
2	130.1	127	3.1
3	129.4	127	2.4
4	129.5	127	2.5
5	129.6	127	2.6
6	130.1	127	3.1
7	130.3	127	3.3
8	129.4	127	2.4
9	130.2	127	3.2
10	129.6	127	2.6

Fuente 72: Elaboración propia



Para determinar el promedio del error utilizaremos la ecuación (2), Que nos da un promedio de:

$$\bar{x} = \frac{129.6 + 130.1 + 129.1 + 129.5 + 129.6 + 130.1 + 130.3 + 129.4 + 130.2 + 129.6}{10}$$

$$\bar{x} = \frac{1297.8}{10} = 129.78$$

Y para la varianza, aplicamos la ecuación (3) que nos da;

$$S^2 = 0.1116$$

Por lo tanto la variación estándar sería:

$$S = \sqrt{0.1116} = 0.352$$

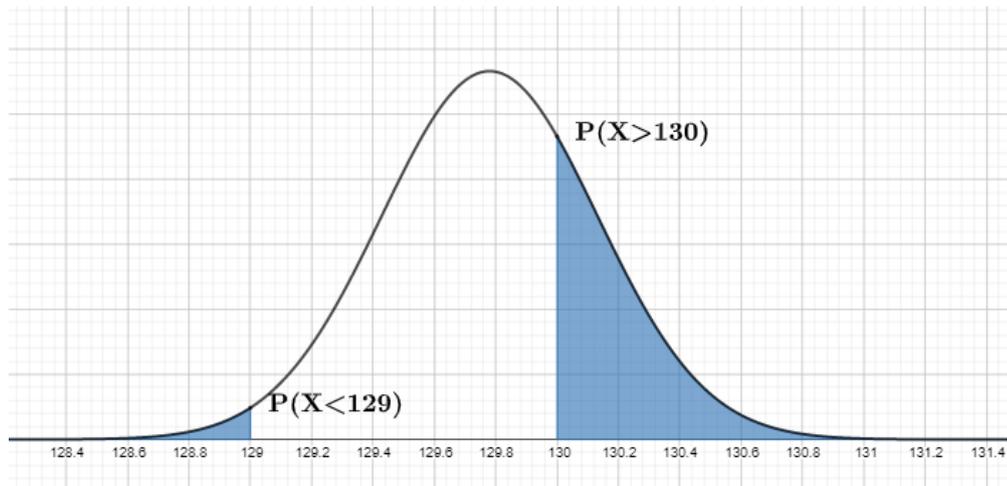
Para determinar la exactitud primeramente utilizamos la ecuación (1), definimos el error (E) como como la diferencia entre la media y el valor esperado.

$$E = \bar{x} - 127 = 129.78 - 127 = 2.78$$

4.2. RESULTADOS

De los resultados anteriores se obtiene la gráfica de distribución normal mostrado en la siguiente figura 71. Para una variación de $+1 \mu\text{m}$, nos dice que hay una probabilidad de $P(X < 129)$ y $P(X > 130) = 0.2793$.

Figura 71: Distribución normal



Fuente 73: Elaboración propia

Con estos resultados solo nos queda decir que el prototipo tiene buena precisión de tan solo 0.2793 probabilidad de cambiar en $\pm 1 \mu\text{m}$, pero con un error de $2.78 \mu\text{m}$ que deberá ser compensado con las constantes que definen las distancias.



V. CONCLUSIONES

Primero. Las diferentes aplicaciones con tecnología láser son altamente precisas con un determinado diseño electrónico de control, además, un parámetro muy importante para muestra aplicación es la longitud de onda que este laser debe de tener, y debe ser menor de 430 nm para que inicie la absorción de energía en el film fotosensible.

Segundo. Al utilizar la tecnología patentada que utiliza un motor con espejos montados en forma de un hexágono, disminuyo en forma considerable el mecanismo deslizante de una coordenada, pero esto género en contra parte desplazamientos no lineales del haz laser que se tuvieron que utilizar linealización con ecuaciones de primer orden segmentada.

Tercero. La alta velocidad de transferencia de datos por el puerto serial SPI, causa retardos en la conmutación en los estados de encendido y apagado del diodo laser, esto empeora aún más para un ancho de pulso de onda corta. Para solucionar el problema, se utilizaron Mosfet de potencia de alta velocidad de conmutación.

Cuarto. De los distintos tipos de transferencia de datos por el puerto USB, el de transferencia masiva fue el más adecuado para nuestra aplicación, por tener alta velocidad de transferencia y detección de errores a nivel de hardware. Pero no garantiza que todo el paquete de datos sea enviado en una sola función de envió. Con la herramienta de desarrollo de Microsoft, WinUSB nos redujo el tiempo en implementar el driver de control de nuestro dispositivo para que pueda ser reconocido por la computadora.



VI. RECOMENDACIONES

- Para disminuir aún más el ancho de las pistas de conexión como por ejemplo 3th (0.0762mm) se requerida mejorar el parámetro del eje focal de los lentes ópticos, aumentar la resolución de movimiento del motor paso a paso, aumentar la velocidad de transferencia de datos del puerto SPI y aumentar la estabilidad del motor hexagonal con espejos.
- Un parámetro de mucha importancia para el tiempo de impresión es el tiempo de exposición del film fotosensible al haz UV, así como también la longitud de onda de mayor sensibilidad del film, este parámetros ya no se pueden mejorar. Entonces solo queda aumentar más diodos laser para disminuir el tiempo de impresión
- Para el desplazamiento de coordenadas realizadas por el motor hexagonal, se tuvo que Linealizar con ecuaciones de primer orden. Para una mayor exactitud se recomienda utilizar ecuaciones de segundo orden.
- La transferencia de datos de computadora al microcontrolador, por el bus USB no garantiza una transferencia completa de todo el paquete de dato, por el contrario, es muchas veces son dividido en partes. Para solucionarlo el problema en nuestro proyecto se incorporó código binario de inicio y fin de paquete de dato. Otra forma de solución es utilizar registros de control del mismo kernel de Windows, que pueden ser fácilmente accedidos por WinUSB, pero se requiere conocimientos profundos de las capas y arquitectura del protocolo USB.



VII. REFERENCIAS

Acosta Portilla, L. G. (2014). *CONVERTIDOR DE SEÑALES ECL PARALELO SERIAL PARA LA COMTABILIDAD DE INTERFACE DE LAS GRABADORAS AMPEX EN EL INSTITUTO ESPACIAL ECUATORIANO*. ECUADOR.

Alberto Orensa, M., & Enrique Manonellas, G. (2000). *Programacion en Ensamblador(x86_64)*. Catalunya: Universitat Oberta de Catalunya.

Alonso Fernandez, B., Borrego Varillas, R., Hernandez Garcia, C., Perez Hernandez, J. A., & Romero Vazquez, C. (2010). *El láser, la luz de nuestro tiempo*. Salamanca: OSAL .

Altium DESIGNER. (17 de 07 de 2022). *Define the Layer Stack in Altium Designer*. Obtenido de <https://www.altium.com/documentation/altium-designer/defining-layer-stack>

ARM Developer. (2021). *CORTEX-M3*. Obtenido de <https://developer.arm.com/ip-products/processors/cortex-m/cortex-m3>

ARMKEIL. (14 de 10 de 2021). *COMPONENTE USB*. Obtenido de https://www.keil.com/pack/doc/mw/USB/html/_u_s_b__concepts.html

ARMKEIL. (14 de 10 de 2021). *USB Component*. Obtenido de MDK Middleware for USB Device and Host Communication: https://www.keil.com/pack/doc/mw/USB/html/_u_s_b__bulk__transfers.html

armKEIL. (12 de 09 de 2021). *USB Transfer Rates*. Obtenido de https://www.keil.com/pack/doc/mw/USB/html/_u_s_b__transfer__rates.html

Atmel Corporation. (2015). *8-bit AVR Microcontroller*. United States of America: Atmel Corporation.



- AXELSON, J. (2005). *Usb complete everything you need to develop custom usb peripherals*. U.S.A: Madison.
- Barco Graphics N.V. (Monday de October de 2001). *Gerber RS-274X Format User's Guide*. Obtenido de <http://www.ieslosviveros.es/electronica/apuntes/asig14/Gerber%20extendido%20rs274xN.pdf>
- Campeche Valencia, J. C., Espinoza Norzagaray, J. M., & Solano Alonso, S. (2018). *ESPECIALISTA EN SISTEMAS EMBEBIDOS*. MEXICO: INSTITUTO TECNOLÓGICO.
- Cruz Contreras, A., Herrera Lozada, C., & Gonzalez Robles, C. (2002). *Interpretacion y Maquinado de Archivos Gerber*. MEXICO: CIDETEC-IPN.
- DeHaven, W., & Arieli, R. (10 de 07 de 2022). *Empaquetado del Láser de Diodo*. Obtenido de <https://www.um.es/LEQ/laser/Ch-6/F6s3p18.htm>
- diarioelectronico. (20 de 10 de 2021). *ELECTRÓNICA PRÁCTICA APLICADA*. Obtenido de MOTOR UNIPOLAR: <https://www.diarioelectronico hoy.com/blog/motores-pap-unipolares>
- FreeRTOS. (15 de 08 de 2021). *Real-time operating system for microcontrollers*. Obtenido de <https://www.freertos.org/RTOS-task-states.html>
- Fuentes Fernández, J. (2015). ¿Ondas o Partículas? la teoría de la doble solución de Louis de Broglie. *ciencias*, 117.
- Jiménez Peñalosa, J. L. (2005). *Caracterización del modulador electro-óptico APETm microwave analog intensity con aplicación de transmisión de video compuesto*. MÉXICO: BIBLIOTECAS UDLAP.



Keyence. (2011). *INFORMES SOBRE TECNOLOGÍA LÁSER*. Mexico: keyence.

LATTICE SEMICONDUCTOR. (09 de 10 de 2021). *ECP5 Evaluation Board*.

Obtenido de

<https://www.latticesemi.com/products/developmentboardsandkits/ecp5evaluationboard>

Mendivil Varas, J. M. (2015). Láseres integrados en doble tungstos y niobatos de litio basados en guías de onda ridge. Madrid, Madrid, Madrid.

MICROChemicals. (15 de 07 de 2022). *Exposure photoresist*. Obtenido de

https://www.microchemicals.com/technical_information/exposure_photoresist.pdf

Microsoft. (10 de 10 de 2021). *Windows hardware developer documentation*. Obtenido

de WinUSB Device: <https://docs.microsoft.com/en-us/windows-hardware/drivers/usbcon/automatic-installation-of-winusb>

Pottiez, O., Gomez Vieyra, A., & Ibarra Villalón, H. E. (2018). El camino hacia la luz laser. *Revista Mexicana de Fisica*, 100-107.

R. BARBUCHA, M. K. (2008). Laser Direct Imaging of tracks on PCB covered with laser photoresist. *ACADEMY OF SCIENCES*, 1.

Ramón González. (13 de 04 de 2012). *Lenguaje Ensamblador*. Obtenido de

<http://ramon-gzz.blogspot.com/2012/04/lenguaje-ensamblador.html>

rastroclick. (23 de 07 de 2021). Escáner Acer AcerScan Prisa 620p. págs.

<https://www.rastroclick.es/listings/escaner-acer-acerscan-prisa-620p/>.

Sanchis, E., & B. Ejea, J. (11 de noviembre de 2008). El Diodo Laser. Valencia, Madrid, España.



Sanz, F., & Manzanares, J. A. (1991). El daser de semiconductor. *Revista Mexicana de Física*, 9.

STMicroelectronics. (2015). *RM0008 Reference manual*. United States of America: STMicroelectronics.

STMicroelectronics. (2015). *STM32F101xx, STM32F102xx, STM32F103xx, STM32F105xx, and STM32F107xx advanced ARM*. Hong Kong.

Taleng Oliag, S. (1995). *Curso de programación en C++*. Valencia.

UCAMCO. (12 de April de 2021). *The Gerber Layer Format*. Obtenido de A format developed by Ucamco:

https://www.ucamco.com/files/downloads/file_en/436/gerber-layer-format-specification-revision-2021-04_en.pdf?ab6b4d964fa3e9019e4a618710eb3658

Vernackt, M. (2003). SYSTEM, METHOD AND ARTICLE OF MANUFACTURE FOR IMPROTED LASER DIRECT IMAGING A PRINTED CIRCUIT BOARD UTILIZING A MODE LOCKED LASER AND SCOPHONY OPERATION. *United States Patent*, 2.

Yiu, J. (2012). *The definitive guide to the ARM Cortex-M3*. United States: ELSEVIER.

Yoshitatsu Naito, E., Yoshitda Oshida, E., & Mitsuhiro Suzuki, E. (28 de JUNIO de 2011). *LASER DIRECT IMAGING APPARATUS*. Obtenido de https://www.artwork.com/raster/dmd/patents/patent7969636_Laser_direct_imaging_apparatus.pdf



ANEXOS

ANEXO 01



LB1876

Three-Phase Brushless Motor Driver for Polygon Mirror Motors

Overview

The LB1876 is a driver for polygon mirror motors such as used in laser printers and similar equipment.

It incorporates all necessary circuitry (speed control + driver) on a single chip. Direct PWM drive enables drive with low power loss.

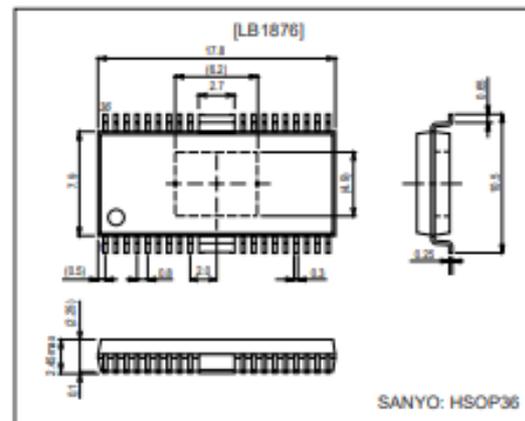
Functions and Features

- Three-phase bipolar drive
- Direct PWM drive technique
- Built-in lower side output diode
- Output current limiter
- Reference clock input circuit (FG frequency equivalent)
- PLL speed control circuit
- Phase lock detector output (with masking function)
- Built-in protection circuitry includes current limiter, restraint protection, overheat protection, low-voltage protection, etc.
- Brake method switching circuit (free-run or reverse torque)
- 5V regulator output
- Power save function

Package Dimensions

unit: mm

3235A-HSOP36



Specifications

Maximum Ratings at $T_a = 25^\circ\text{C}$

Parameter	Symbol	Conditions	Ratings	Unit
Maximum supply voltage 1	$V_{CC\ max}$		30	V
Maximum output current	$I_O\ max$	$T \leq 500\ ms$	2.5	A
Allowable power dissipation 1	$P_d\ max1$	IC only	0.9	W
Allowable power dissipation 2	$P_d\ max2$	*With substrate	2.1	W
Operating temperature	T_{opr}		-20 to +80	$^\circ\text{C}$
Storage temperature	T_{stg}		-55 to +150	$^\circ\text{C}$

* Substrate: $114.3 \times 78.1 \times 1.6\ mm^3$, glass epoxy

■ Any and all SANYO products described or contained herein do not have specifications that can handle applications that require extremely high levels of reliability, such as life-support systems, aircraft's control systems, or other applications whose failure can be reasonably expected to result in serious physical and/or material damage. Consult with your SANYO representative nearest you before using any SANYO products described or contained herein in such applications.

■ SANYO assumes no responsibility for equipment failures that result from using products at values that exceed, even momentarily, rated values (such as maximum ratings, operating condition ranges, or other parameters) listed in products specifications of any and all SANYO products described or contained herein.

LB1876

Allowable Operating Ranges at $T_a = 25^\circ\text{C}$

Parameter	Symbol	Conditions	Rating	Unit
Power supply voltage range	V_{CC}		9.5 to 28	V
5 V regulated output current	I _{REG}		0 to -20	mA
LD pin voltage	V _{LD}		0 to 28	V
LD pin output current	I _{LD}		0 to 15	mA
FGS pin voltage	V _{FGS}		0 to 28	V
FGS pin output current	I _{FGS}		0 to 10	mA

Electrical Characteristics at $T_a = 25^\circ\text{C}$, $V_{CC} = V_M = 24\text{ V}$

Parameter	Symbol	Conditions	Rating			Unit
			min	typ	max	
Power supply current 1	I _{CC1}			17	22	mA
Power supply current 2	I _{CC2}	Quiescent Current		3.8	5.0	mA
[5V regulated output]						
Output voltage	V _{REG}		4.65	5.0	5.35	V
Voltage fluctuation	ΔV_{REG1}	$V_{CC} = 9.5\text{ to }28\text{ V}$		50	100	mV
Load fluctuation	ΔV_{REG2}	$I_O = -5\text{ to }-20\text{ mA}$		30	100	mV
Temperature coefficient	ΔV_{REG3}	Design target value		0		mV/°C
[Output block]						
Output saturation voltage 1	V _{OSAT1}	$I_O = 1.0\text{ A}$, $V_O(\text{SINK})+V_O(\text{SOURCE})$		2.0	2.5	V
Output saturation voltage 2	V _{OSAT2}	$I_O = 2.0\text{ A}$, $V_O(\text{SINK})+V_O(\text{SOURCE})$		2.8	3.2	V
Output leak current	I _{O(leak)}				100	μA
Lower side diode forward voltage 1	V _{D1}	$I_D = -1.0\text{ A}$		1.2	1.5	V
Lower side diode forward voltage 2	V _{D2}	$I_D = -2.0\text{ A}$		1.5	1.9	V
[Hall amplifier block]						
Input bias current	I _{HB}		-2	-0.5		μA
Common mode input voltage range	V _{ICM}		0		V _{REG} - 20	V
Hall input sensitivity			80			mV/p-p
Hysteresis width	$\Delta V_{H(HA)}$		15	24	42	mV
Input voltage L → H	V _{SLH}			12		mV
Input voltage H → L	V _{SHL}			-12		mV
[FG/Schmitt block]						
Input bias current	I _{B(FGS)}		-2	-0.5		μA
Common mode input voltage range	V _{ICM(FGS)}		0		V _{REG} - 20	V
Input sensitivity	V _{IN(FGS)}		80			mV/p-p
Hysteresis width	$\Delta V_{H(FGS)}$		15	24	42	mV
Input voltage L → H	V _{SLH(FGS)}			12		mV
Input voltage H → L	V _{SHL(FGS)}			-12		mV
[PWM oscillator]						
Output High level voltage	V _{OH(PWM)}		2.5	2.8	3.1	V
Output Low level voltage	V _{OL(PWM)}		1.2	1.5	1.8	V
External capacitor charge current	I _{CHG}	V _{PWM} = 2 V	-125	-95	-75	μA
Oscillator frequency	f(PWM)	C = 3000 pF		22		kHz
Amplitude	V(PWM)		1.05	1.27	1.50	Vp-p
[FGS output]						
Output saturation voltage	V _{OL(FGS)}	I _{FGS} = 7 mA		0.15	0.5	V
Output leak current	I _{L(FGS)}				10	μA
[CSD oscillator]						
Output High level voltage	V _{OH(CSD)}		2.65	3.0	3.3	V
Output Low level voltage	V _{OL(CSD)}		0.75	0.9	1.1	V
Amplitude	V(CSD)		1.75	2.1	2.3	Vp-p
External capacitor charge current	I _{CHG1}		-13.5	-9	-5.5	μA
External capacitor discharge current	I _{CHG2}		5.5	9	13.5	μA
Oscillator frequency	f(CSD)	C = 0.088 μF		30		Hz

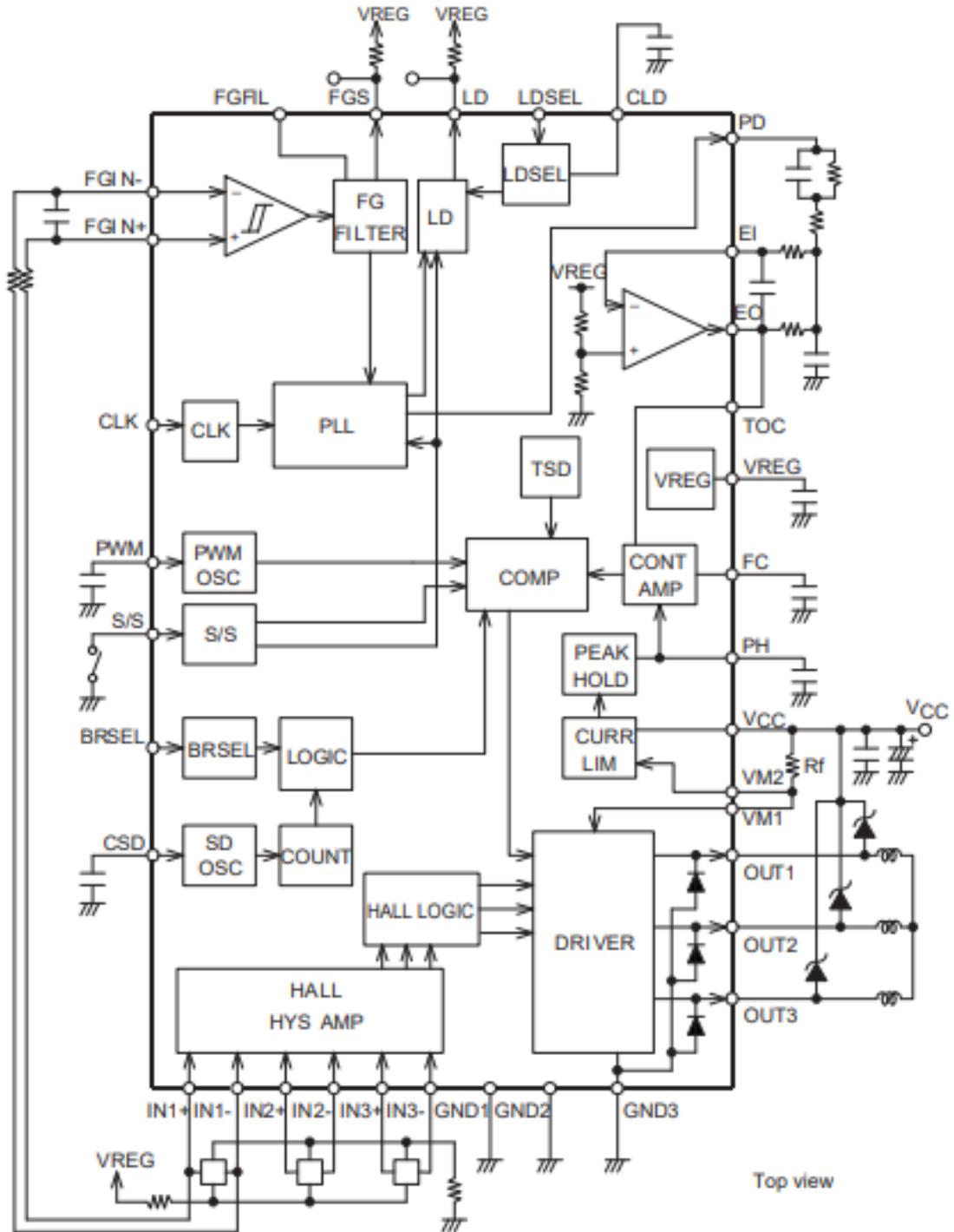
Continued on next page.

LB1876

Continued from preceding page.

Parameter	Symbol	Conditions	Ratings			Unit
			min	typ	max	
[Phase comparator output]						
Output High level voltage	V _{POH}	I _O H = -100 μA	V _{REG} -0.2	V _{REG} -0.1		V
Output Low level voltage	V _{PDL}	I _O H = 100 μA		0.2		V
Output source current	IPD+	V _{PD} = V _{REG} /2				-0.3 mA
Output sink current	IPD-	V _{PD} = V _{REG} /2	1.5			mA
[Phase lock detector output]						
Output saturation voltage	V _O L(LD)	I _{LD} = 10 mA		0.15	0.5	V
Output leak current	I _L (LD)	V _O = V _{CC}			10	μA
[ERR amplifier]						
Input offset voltage	V _O (ER)	Design target value	-10		+10	mV
Input bias current	I _B (ER)		-1		+1	μA
Output High level voltage	V _O H(ER)	I _O H = -500 μA	V _{REG} -1.2	V _{REG} -0.9		V
Output Low level voltage	V _O L(ER)	I _O L = 500 μA		0.9	1.2	V
DC bias level	V _B (ER)		-5%	V _{REG} /2	+5%	V
[Current limiter]						
Drive gain 1	GDF1	in phase lock mode	0.4	0.5	0.8	times
Drive gain 2	GDF2	in unlock mode	0.8	1.0	1.2	times
Limiter voltage	V _{RF}	V _{CC} - V _M	0.45	0.5	0.55	V
[Thermal shutdown operation]						
Thermal shutdown operating temperature	TSD	Design target value (junction temperature)	150	180		°C
Hysteresis width	ΔTSD	Design target value (junction temperature)		40		°C
[Low voltage protection]						
Operating voltage	V _{SD}		8.1	8.5	8.9	V
Hysteresis	ΔV _{SD}		0.2	0.35	0.5	V
[CLD circuit]						
External capacitor charge current	I _{CLD}		-8	-4.3	-3	V
Operating voltage	V _H (CLD)		3.25	3.5	3.75	V
[CLK pin]						
External input frequency	f _i (CKIN)		0.1		10	kHz
High level input voltage	V _H (CKIN)		3.5		V _{REG}	V
Low level input voltage	V _L (CKIN)		0		1.5	V
Input open voltage	V _O (CKIN)		V _{REG} -0.5		V _{REG}	V
Hysteresis width	V _S (CKIN)		0.35	0.5	0.65	V
High level input current	I _H (CKIN)	V _{CKIN} = V _{REG}	-10	0	+10	μA
Low level input current	I _L (CKIN)	V _{CKIN} = 0 V	-280	-210		μA
[S/S pin]						
High level input voltage	V _H (SS)		3.5		V _{REG}	V
Low level input voltage	V _L (SS)		0		1.5	V
Input open voltage	V _O (SS)		V _{REG} -0.5		V _{REG}	V
Hysteresis width	V _S (SS)		0.35	0.5	0.65	V
High level input current	I _H (SS)	V _{S/S} = V _{REG}	-10	0	+10	μA
Low level input current	I _L (SS)	V _{S/S} = 0 V	-280	-210		μA
[LDSEL pin]						
High level input voltage	V _H (LDSEL)		3.5		V _{REG}	V
Low level input voltage	V _L (LDSEL)		0		1.5	V
Input open voltage	V _O (LDSEL)		V _{REG} -0.5		V _{REG}	V
High level input current	I _H (LDSEL)	V _{LDSEL} = V _{REG}	-10	0	10	μA
Low level input current	I _L (LDSEL)	V _{LDSEL} = 0 V	-280	-210		μA
[BRSEL pin]						
High level input voltage	V _H (BRSEL)		3.5		V _{REG}	V
Low level input voltage	V _L (BRSEL)		0		1.5	V
Input open voltage	V _O (BRSEL)		V _{REG} -0.5		V _{REG}	V
High level input current	I _H (BRSEL)	V _{LDSEL} = V _{REG}	-10	0	10	μA
Low level input current	I _L (BRSEL)	V _{LDSEL} = 0 V	-280	-210		μA

Equivalent Circuit Block Diagram and Sample Application Circuit



ANEXO 02

SLD3237VF, SLD3237VFR 400 mW Output Blue-Violet Semiconductor Laser Diodes Support BDXL™



To respond to the increasing popularity of HD and 3D content, Sony has now developed the industry's first 400 mW pulsed optical output laser diode, the SLD3237VF. This high-output blue-violet laser diode supports high-speed recording for the new "BDXL™" large-capacity standard, which increases the Blu-ray disc recording capacity to 128 GB.

The increased output of this new device makes 4x-speed recording on 4-layer BDXL-R media possible.

At the same time, Sony has also developed the SLD3237VFR 350 mW pulsed optical output laser diode, which is provided in a 3.8 mm diameter package, and has initiated sales in IT related applications such as slim factor drives.

* For mass production as of September 2010.

- Maximum optical output of 400 mW supports BDXL™ (in pulse drive mode)
- Guaranteed high-temperature operation of 85 °C and 90 °C (SLD3237VF/SLD3237VFR, respectively)
- Lineup includes a 3.8 mm diameter compact package product for slim drives

BDXL™

* BDXL™ is a trademark of the Blu-ray Disc Association.

Maximum Optical Output of 400 mW Supports BDXL™ (in Pulse Drive Mode)

To support increasingly higher speed multiples in Blu-ray disc media recording, Sony has released a series of blue-violet laser diodes with optical outputs of 65, 125, 170, 200, and 330 mW (the SLD3232VF through SLD3236VF). The SLD3236VF, which provides the highest optical output of these devices, 330 mW, supports Blu-ray disc recording at up to 8x speed on 2-layer media. Sony has now developed the 400 mW pulsed optical output SLD3237VF and has started mass production of this device as the industry's first 400 mW blue-violet laser diode. This increase in optical output makes possible both 4x-speed recording on 4-layer media (BDXL-R), which supports large capacities up to 128 GB, and 12x-speed recording on 2-layer media.

To achieve mass production of blue-violet laser diodes in the 400 mW class, it is necessary to prevent the melting of the laser device end surface by a phenomenon known as catastrophic optical damage (COD). In the newly-developed SLD3237VF, Sony adopted newly developed and optimized materials and structure of the coating on the laser device emission facet. This made it possible to achieve the high output of 400 mW optical output in pulsed operation.

Guaranteed High-Temperature Operation Up to 85 °C (SLD3237VF)

During operation at an optical output of 400 mW, the heat generated by the laser device itself increases. As a result, guaranteed operation at even higher temperatures than before is now required. To assure reliability at high-temperature operation, it was necessary to improve the crystal quality of the gallium nitride crystal, which is the laser diode structural material. To resolve this issue, Sony designed a new MOCVD (metal-organic chemical vapor deposition) system and optimized the crystal growth conditions. As a result, Sony achieved high reliability during pulsed optical output operation at 400 mW even at the high temperature of 85 °C. While the technique of increasing the chip size to improve the heat dissipation of the laser chip is often adopted as a means of achieving high-temperature operation, in this product, improving the crystal quality allowed Sony to succeed not only in achieving high-temperature operation, but also to narrow the size of the laser chip. In addition to shrinking the size of the chip, Sony also developed processes and process equipment

that achieve high production efficiency in the wafer process. This will allow Sony to respond to the increasing demand for Blu-ray semiconductor laser diodes.

Lineup Includes a 3.8 mm Diameter Compact Package Product for Slim Drives

We expect to see increasing demand for slim factor Blu-ray disc drives that support data recording for IT applications. To respond to these market demands, in addition to the existing 5.6 mm diameter package SLD3237VF, we are also releasing the SLD3237VFR, which is provided in a 3.8 mm diameter package that is optimal for compact drives. Since the environmental temperature can be especially high in IT applications, not only does the SLD3237VFR feature a miniature package, but it also achieves operation at even higher temperatures, in particular supporting 350 mW pulsed optical output operation at up to 90 °C.

V O I C E

Development of the SLD3237VF and SLD3237VFR involved the introduction of many new elements, both in manufacturing equipment and technology and there were many difficulties. However, from the first stages of development we received cooperation from many people in a variety of groups, from the manufacturing department and the semiconductor business group analysis team to the technology development division. This allowed us to create even better products. Based on the technological foundations created for these products, we plan to proceed with development of even higher output laser diode products.

Table 1 SLD3237VF Blu-ray Disc Recording Semiconductor Laser Diode Main Specifications

Item	Conditions	Rating or characteristic value
Actual maximum ratings		
Optical output, P_o	DC CW	200 mW
	Pulse	Width 30 ns Duty 50 % 400 mW
Operating temperature	—	0 to 85 °C
Electrical and optical characteristics ($T_c = 25$ °C)		
Threshold current, I_{th}	CW	39 mA
Operating current, I_{op}	CW, $P_o = 150$ mW	130 mA
Operating voltage, V_{op}	CW, $P_o = 150$ mW	5.0 V
Wavelength, λ_p	CW, $P_o = 150$ mW	405 nm
Differential efficiency, η_D	CW, $P_o = 5$ to 150 mW	1.6 mW/mA
Radiation angle	Parallel	CW, $P_o = 150$ mW 9.0°
	Perpendicular	CW, $P_o = 150$ mW 19.0°

Table 2 SLD3237VFR Blu-ray Disc Recording Semiconductor Laser Diode Main Specifications

Item	Conditions	Rating or characteristic value
Actual maximum ratings		
Optical output, P_o	DC CW	200 mW
	Pulse	Width 30 ns Duty 50 % 350 mW
Operating temperature	—	0 to 90 °C
Electrical and optical characteristics ($T_c = 25$ °C)		
Threshold current, I_{th}	CW	38 mA
Operating current, I_{op}	CW, $P_o = 150$ mW	135 mA
Operating voltage, V_{op}	CW, $P_o = 150$ mW	4.9 V
Wavelength, λ_p	CW, $P_o = 150$ mW	405 nm
Differential efficiency, η_D	CW, $P_o = 5$ to 150 mW	1.5 mW/mA
Radiation angle	Parallel	CW, $P_o = 150$ mW 9.0°
	Perpendicular	CW, $P_o = 150$ mW 19.0°

Figure 1 SLD3237VF L-I and V-I Characteristics (in Pulse Drive Mode)

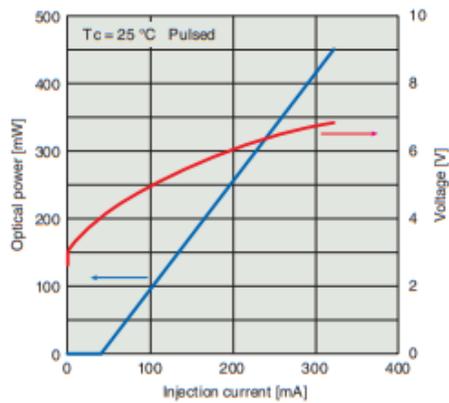


Figure 2 SLD3237VF L-I Temperature Characteristics

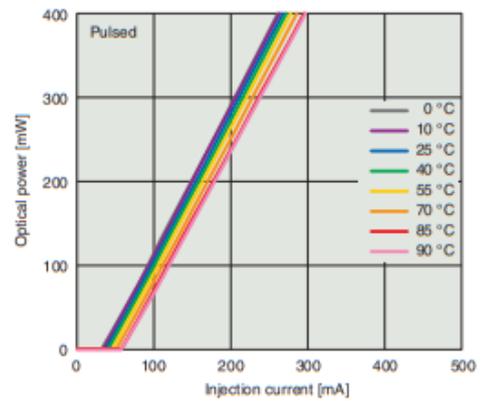


Figure 3 SLD3237VF and SLD3237VFR Far-Field Pattern

