

Diseño y Programación de un Prototipo de Escáner en 2D para la Identificación de patrones y figuras Geométricas Básicas en Objetos a Través de Diversos Sensores y Microcontroladores

Machado-Díaz, E.¹ ✉; Vaquera-González, E.¹; Román-Landeros, D.A.¹

Datos de Adscripción:

¹Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, División de Ingeniería en Sistemas Automotrices, Av. Tecnológico No. 1555 Sur Periférico Gómez - Lerdo Km. 14.5, Ciudad Lerdo, Estado de Durango C.P. 35150.

✉ eduardo.md@itslerdo.edu.mx

Resumen - El escáner 2D permite automatizar el proceso de reconocimiento de patrones y figuras geométricas en objetos reales. Esto ahorra tiempo y reduce la posibilidad de errores humanos en comparación con métodos manuales de identificación. En entornos de ingeniería y manufactura, este tipo de escáner es invaluable para verificar la precisión de componentes, identificar defectos y asegurar la conformidad con especificaciones técnicas, lo que contribuye a mejorar la calidad de los productos. La propuesta del proyecto abarca el diseño y programación de un escáner en 2D que permita identificar patrones y objetos con figuras geométricas básicas para la futura detección de fallas en piezas o procesos industriales que requieran una medición de las dimensiones de los objetos que se producen en distintos ámbitos. En primer lugar, se presentan experimentaciones con diferentes tipos de sensores (láser, ultrasónicos e infrarrojos) así como con diferentes plataformas de desarrollo como lo son Arduino, Raspberry Pi y el microcontrolador ESP32 para realizar una comparación de funcionamiento e identificar la plataforma con mejores resultados. Posteriormente, se exponen pruebas de funcionamiento a través de una interfaz visual que permita observar el patrón escaneado o la figura del objeto con el que se está trabajando. Así mismo, se plantean los circuitos necesarios para cada uno de los sensores y actuadores aplicados en las diferentes etapas del desarrollo para brindar alternativas de solución en proyectos que requieran este tipo de dispositivos.

Palabras Clave - Escáner 2D, Figuras, Microcontroladores, Patrones, Prototipo, Sensores

Abstract - The 2D scanner with sensors allows for the automation of pattern recognition and geometric shape identification in real-world objects. This saves time and reduces the potential for human errors compared to manual identification methods. In engineering and manufacturing environments, this type of scanner is invaluable for verifying component accuracy, detecting defects, and ensuring compliance with technical specifications, thereby enhancing product quality. The project proposal encompasses the design and programming of a 2D scanner capable of identifying patterns and objects with basic geometric shapes for future fault detection in parts or industrial processes that require measurement of object dimensions across various domains. Firstly, experiments are conducted using different

types of sensors (laser, ultrasonic, and infrared) as well as different microcontrollers such as Arduino, ESP32, and Raspberry Pi to compare functionality and identify the platform yielding the best results. Subsequently, functional tests are presented through a visual interface enabling observation of the scanned pattern or object figure being worked on. Furthermore, the necessary circuits for each sensor and actuator used in different development stages are proposed to provide solution alternatives for projects requiring such devices.

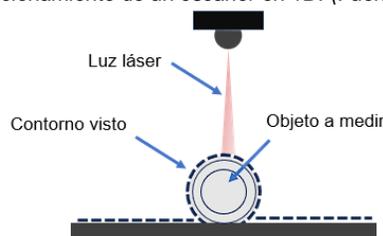
Keywords - 2D scanner, Figures, Microcontrollers, Patterns, Prototype, Sensors

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Escáner de una dimensión o de patrón lineal.

Un escáner de patrones lineales es un dispositivo óptico-electrónico utilizado para capturar imágenes o información de objetos mediante la detección de patrones lineales. Este tipo de escáner opera mediante la emisión de un rayo de luz, generalmente un láser, que se proyecta sobre el objeto a escanear. La luz reflejada es capturada por un sensor que convierte esta información en señales electrónicas, las cuales son posteriormente procesadas y convertidas en datos digitales (Rodríguez, 2013). La Figura 1, muestra una referencia visual del funcionamiento de este tipo de dispositivos.

Figura 1.
Principio de funcionamiento de un escáner en 1D. (Fuente: Revolveai)



Una evolución de los escáneres de una dimensión es el "Light Detection and Ranging" (LIDAR), que se traduce al español como Detección y Rango de Luz. Esta tecnología se basa en la utilización de pulsos de luz láser para medir distancias precisas y mapear objetos o superficies en tres dimensiones. Entre sus aplicaciones principales se encuentran (Gesteira, 2023):

- Cartografía y topografía: Se utiliza para crear mapas topográficos detallados y modelos digitales del terreno, esenciales para la planificación urbana, la gestión de recursos naturales y la arqueología.

- Automoción y vehículos autónomos: En la detección y evitación de obstáculos, facilitando la navegación segura y precisa.
- Ingeniería Civil y construcción: Utilizado para inspeccionar estructuras, medir distancias y volúmenes, y supervisar proyectos de construcción con alta precisión.

Esta tecnología puede ser utilizada en la detección de deformaciones en piezas mediante la generación de mapas tridimensionales detallados de las superficies de las piezas antes y después de la exposición a condiciones que puedan causar deformaciones. A continuación, se presentan algunos antecedentes de sistemas similares aplicados en diferentes rubros para la detección de patrones.

1.2 Reconstrucción a base de nube de puntos en ingeniería civil.

En el trabajo presentado por (Meza, 2023), se describe la ingeniería que permite generar un modelo tridimensional utilizando una nube de puntos obtenida mediante el escaneo de objetos con un sensor LiDAR de bajo costo. Este proceso se inicia con la recopilación de datos, es decir, la captura de imágenes. A continuación, se procede al procesamiento de todas las vistas parciales dentro de un sistema de referencia común. Después, se integran todas estas vistas parciales en una única malla.

Debido a la cantidad de parámetros implicados en las etapas anteriores, siempre se incluye una etapa final de procesamiento para eliminar errores o mejorar los resultados obtenidos. El procesamiento puede abarcar una variedad de operaciones. Finalmente, a partir de las mallas se pueden generar superficies, las cuales se refinan para crear modelos sólidos que pueden visualizarse en diversos sistemas.

1.3 Monitoreo 3D de construcciones con LIDAR.

Así mismo, en la investigación de (Tipismana de la Cruz, 2023) se plantea un sistema LiDAR 3D de bajo costo el cual se logró utilizando un sensor LiDAR 1D, servomotores y una placa Arduino, junto con otros componentes.

El sistema se programa para tomar mediciones mientras el dispositivo se mueve horizontalmente de 0° a 180° en sentido horario y verticalmente de 0° a 90° de abajo hacia arriba. Además, se diseña un programa interactivo para la recolección de datos y un entorno gráfico que permite representar la nube de puntos en tres dimensiones.

Este dispositivo está destinado a monitorear las pendientes de los taludes y estimar el volumen de tierra removido en obras. Los resultados obtenidos demuestran la efectividad del sistema LiDAR 3D de bajo costo desarrollado.

1.4 Medición de patrones lineales utilizando sensor láser de triangulación.

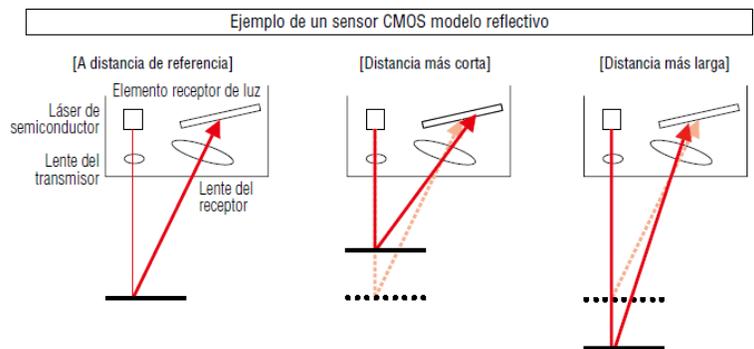
Los sensores de desplazamiento láser emplean la técnica de triangulación láser para medir la altura de un píxel desde un plano base calibrado, que puede considerarse como el punto "cero" en un gráfico de línea.

En su operación, estos sensores proyectan una línea láser sobre un objeto, ya sea estático o en movimiento. La luz reflejada es detectada por un sensor digital situado a una distancia y ángulo predefinidos del generador de línea láser, que forma parte del sensor de desplazamiento láser.

El software de triangulación láser, que funciona dentro del sensor, reconstruye el mapa de la superficie o la nube de puntos basándose en las variaciones de la forma de la línea láser proyectada conforme se desplaza sobre el objeto. Posteriormente, los resultados obtenidos se transmiten al dispositivo de control correspondiente, a los sistemas de manejo de materiales o al software de seguimiento de producción, para que se tomen las acciones necesarias. La descripción gráfica del funcionamiento de los sensores de desplazamiento láser se muestra en la Figura 2.

Figura 2.

Ejemplo de funcionamiento de un sensor de triangulación Láser (Fuente: Keyence)



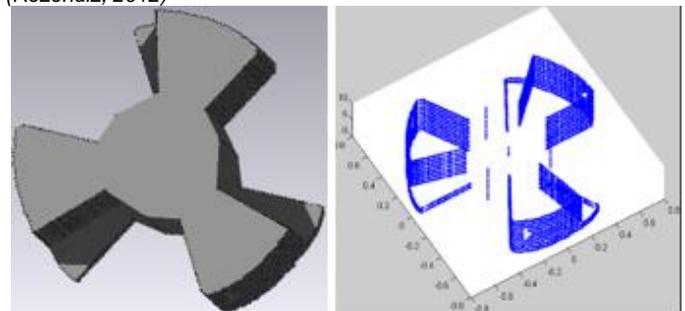
1.4.1 Aplicación de sensores láser de desplazamiento para medir la duración de herramientas de corte.

La duración de la herramienta de corte es un factor que se tiene que tomar en cuenta en cuestión monetaria, por lo que cualquier mejora en la misma o en el material de fabricación que prolongue su vida útil es deseada. Esto se debe a que el desgaste de la herramienta durante el proceso de mecanizado altera las condiciones de la superficie de las piezas que se están manufacturando.

En estudio presentado por (Rezéndiz, 2012), se presenta una técnica para visualizar el desgaste de la herramienta, calculado directamente a partir de un sensor de desplazamiento láser. La Figura 3, muestra el ejemplo de aplicación de la investigación.

Figura 3.

Medición de desgaste de herramientas utilizando sensor láser (Rezéndiz, 2012)



Este sensor mide la distancia que hay entre el extremo de la herramienta y su perfil. Las mediciones fueron tomadas fuera de línea y tenían una precisión de solo 0.1 micras. Los resultados

experimentales se obtuvieron utilizando una herramienta de fresado vertical con tres inserciones y un diámetro de 2.54 cm. Un sensor láser de desplazamiento LK-G10 de la marca KEYENCE con una distancia de referencia de 10 mm y un rango de medición de ± 1 mm se incluye en el arreglo experimental de este estudio. Este sensor funciona con 24V DC y 300 mA de corriente. Además, se empleó un motor a pasos con un desplazamiento de 1.8o, controlado por un controlador PIC-Step que permite obtener pasos medios y una resolución de 0.9o entre pasos, lo que permite obtener 400 puntos por cada giro completo de la herramienta de corte. El controlador PIC-Step se conectó a una interfaz SSA-485, una tarjeta que sirve como convertidor de USB/RS232 a RS485, lo que le permite comunicarse con varios módulos a través del puerto USB de la PC.

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

2.1 Metodología del prototipo.

De acuerdo al estudio del arte realizado y de las propuestas investigadas, se pretende realizar un prototipo basado en un sensor de tiempo de vuelo VL5310x que realice la función de escáner en 2D. Es decir, realizar una base móvil sobre un eje que permita al sensor detectar variaciones en una distancia lineal. Así mismo, se ha analizado las características del dispositivo para que esté lo más cercano posible a las especificaciones brindadas para el desarrollo del proyecto.

Debido a que los sensores de triangulación láser tienen un costo elevado y de difícil adquisición se opta por la tecnología de tiempo de vuelo. Si bien el prototipo se plantea como una solución funcional, se pretende en primeras fases, disminuir los costos.

La primera etapa consiste en la investigación del estado del arte de proyectos similares al establecido, así como los elementos y sensores utilizados. Posteriormente, de acuerdo a las capacidades de adquisición de equipo y materiales, se definen los sensores y actuadores a aplicar.

Una vez que se tienen los materiales indicados se prosigue con los programas de prueba para la medición de distancia básica a través del módulo láser. Se plantea el uso de diversos microcontroladores para realizar una comparativa de funcionamiento.

A la par del desarrollo de los programas base para la medición de distancia, se tiene definida una etapa de diseño del actuador lineal que realizará el desplazamiento sobre el eje permitiendo al láser hacer las mediciones correspondientes. Esta etapa se llevará a cabo a través de software de Diseño Asistido por Computadora, particularmente el NX de Siemens®.

Con las piezas del actuador diseñadas, se sigue con la fabricación que, principalmente, se tiene prevista mediante manufactura aditiva o impresión 3D.

Teniendo los apartados de instrumentación y mecánicos realizados, se comenzará con la combinación de ambos a través de la programación conjunta del sistema de medición y del movimiento lineal. Es importante, en esta parte del proyecto, tomar en cuenta los posibles errores que puedan generarse por las vibraciones mecánicas.

Por último, se presenta la elaboración de una interfaz visual sencilla que permita observar de forma gráfica las mediciones obtenidas al momento de realizar el "barrido" del sensor láser mediante el actuador lineal. Con las pruebas realizadas, se lleva a cabo la retroalimentación y mejora del prototipo para su

posterior aplicación con sensores de mayor coste y, por ende, mejores resultados.

2.2 Materiales

2.2.1 Sensor VL53L1X

El sensor VL53L1X es un sensor de distancia láser de alta precisión diseñado para medir distancias de manera precisa y rápida en una variedad de aplicaciones. Utiliza tecnología de tiempo de vuelo (ToF) para calcular la distancia entre el sensor y el objeto objetivo. La Figura 4, muestra una imagen del sensor en cuestión.

Figura 4.
Sensor VL5310X (Fuente: Adafruit)



Es especialmente notable por su capacidad de medir distancias de hasta varios metros con una alta resolución y precisión, lo que lo hace ideal para aplicaciones que requieren detección y seguimiento de objetos en movimiento o que necesitan medidas precisas de distancias. Sus principales características se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1.
Especificaciones técnicas del sensor VL5310X

Característica	Descripción
Rango de medición	Hasta varios metros, dependiendo de la configuración
Resolución	Hasta 1 mm
Precisión	Alta precisión en la medición de distancias
Tecnología	Basado en tiempo de vuelo (ToF)
Velocidad de medición	Rápida y precisa
Interfaces de comunicación	I2C, SPI
Consumo de energía	Bajo consumo
Aplicaciones típicas	Detección de objetos, seguimiento, medición de distancias

2.2.2 Sensor VL6180X

El sensor VL6180X es un sensor de distancia y detección de proximidad de alta precisión que utiliza tecnología de tiempo de vuelo (ToF) para medir la distancia entre el sensor y el objeto objetivo. Este sensor es conocido por su capacidad para medir distancias de manera precisa y rápida en una amplia gama de aplicaciones. Además de la medición de distancia, el VL6180X también puede detectar la proximidad de objetos sin contacto físico, lo que lo hace útil en sistemas de detección y control. El sensor se muestra en la Figura 5.

Figura 5.
Sensor VL6180X (Fuente: Adafruit)



En la Tabla 2, se resume algunas de las características más destacadas del sensor VL6180X, resaltando su capacidad de

medición de distancia y detección de proximidad con alta precisión y velocidad, así como su versatilidad para diversas aplicaciones en sistemas de detección y control.

Tabla 2.

Características del sensor VL6180X

Característica	Descripción
Rango de medición	Hasta varios metros, dependiendo de la configuración
Resolución	Hasta 1 mm
Precisión	Alta precisión en la medición de distancias
Tecnología	Basado en tiempo de vuelo (ToF)
Detección de proximidad	Capacidad para detectar objetos sin contacto físico
Interfaces de comunicación	I2C, SPI
Consumo de energía	Bajo consumo
Aplicaciones típicas	Detección de proximidad, medición de distancias, control de presencia de objetos, sistemas de seguridad

2.2.3 Sensor SHARP 2Y0A21

El sensor de distancia Sharp 2Y0A21 es un dispositivo infrarrojo que mide distancias de 10 a 80 centímetros. El sensor y el objeto objetivo se distancian utilizando la reflexión de un haz de luz infrarroja. Es conocido por su capacidad para proporcionar mediciones confiables en aplicaciones de corto alcance y su facilidad de uso. Una referencia del sensor se da en la Figura 6.

Figura 6.

Sensor SHARP infrarrojo. (Fuente: Digikey)



Las principales características de este sensor se presentan en la Tabla 3, Este sensor es adecuado para aplicaciones donde se requiere una medición precisa en distancias cortas, como en sistemas robóticos, detección de proximidad en dispositivos de seguridad y automatización de procesos.

Tabla 3.

Características principales del sensor SHARP 2Y0A21

Característica	Descripción
Rango de medición	10 a 80 centímetros
Tecnología	Infrarrojo
Precisión	Moderada
Ángulo de detección	Amplio
Tiempo de respuesta	Rápido
Tensión de alimentación	5V
Consumo de corriente	Bajo
Salida analógica	Sí
Tamaño	Compacto
Aplicaciones típicas	Robótica, sistemas de detección de proximidad, dispositivos de seguridad, automatización.

2.2.4 Sensor ultrasónico HC-SR04

El sensor de ultrasonidos HC-SR04 es un dispositivo que utiliza ondas ultrasónicas para medir distancias. Con una precisión moderada, puede medir distancias de 2 cm a 400 cm. Este sensor se utiliza ampliamente en proyectos de electrónica y robótica porque es fácil de usar y económico. La Figura 7, muestra la imagen de referencia del sensor.

Figura 7.

Sensor ultrasónico HC-SR04 (Fuente: Adafruit)



Este sensor es ideal para aplicaciones donde se requiere una medición de distancia precisa en un rango medio, como en proyectos de robótica para evitar obstáculos, sistemas de control de presencia o automatización de procesos que requieren detección de objetos a corta y media distancia. La Tabla 4, presenta sus principales características.

Tabla 4.

Características del sensor HC-SR04

Característica	Descripción
Rango de medición	2 cm a 400 cm
Tecnología	Ultrasonidos
Precisión	Moderada
Ángulo de detección	Amplio
Tiempo de respuesta	Rápido
Tensión de alimentación	5V
Consumo de corriente	Bajo
Salida digital	Sí
Tamaño	Compacto
Aplicaciones típicas	Medición de distancias en proyectos de robótica, presencia, automatización.

2.2.5 Motor a pasos NEMA17

El motor a pasos NEMA17 es un tipo de motor utilizado en una variedad de aplicaciones, especialmente en sistemas de posicionamiento y control de movimiento. Se caracteriza por su precisión en la rotación y su capacidad para moverse en incrementos discretos, llamados pasos. Está diseñado para funcionar con controladores de motor que generan secuencias de pulsos para controlar su movimiento. El motor se muestra en la Figura 8.

Figura 8.

Motor NEMA17 (Fuente: Mouser Electronics)



Este motor es popular en aplicaciones como impresoras 3D, máquinas CNC (Control Numérico Computarizado) y otros sistemas que requieren control preciso de posición y movimiento. Su capacidad para moverse en pasos discretos lo hace ideal para aplicaciones donde la precisión en la posición es crítica. Sus características se ven en la Tabla 5.

Tabla 5.

Características del motor NEMA17.

Característica	Descripción
Tamaño	NEMA 17
Tipo de motor	Paso a paso
Tamaño de paso	1.8 grados por paso
Torque nominal	Variable, dependiendo del modelo y voltaje
Voltaje de operación	Variable, típicamente entre 12V y 24V
Corriente de operación	Variable, dependiendo del modelo y voltaje
Tipo de conexión	Generalmente con conector JST o cables
Aplicaciones típicas	Impresoras 3D, máquinas CNC, sistemas de posicionamiento y control de movimiento.

2.2.6 Controlador de motores a pasos TB6660

El controlador de motores a pasos TB6660 es un dispositivo utilizado para controlar motores a pasos bipolares. Se caracteriza por su capacidad para proporcionar un control preciso de la velocidad y la dirección de rotación de un motor a pasos. Este controlador es ampliamente utilizado en aplicaciones que requieren un control detallado del movimiento, como impresoras 3D, máquinas CNC y sistemas de automatización. El controlador se muestra en la Figura 9.

Figura 9.

Controlador de motor a pasos TB6600 (Fuente: Digikay)



El controlador de motores a pasos TB6600 puede controlar motores a pasos bipolares. Se distingue por su capacidad para controlar de manera precisa la velocidad y la dirección de rotación de un motor en pasos. Aplicaciones que requieren un control detallado del movimiento, como impresoras 3D, máquinas CNC y sistemas de automatización, utilizan con frecuencia este controlador. Las características principales de este controlador se describen en la Tabla 6.

Tabla 6.

Características del sensor TB6600

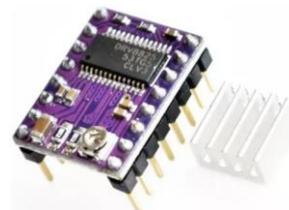
Característica	Descripción
Tipo de motor	Paso a paso bipolar
Voltaje de alimentación	9V a 42V
Corriente de salida	0.6A a 5A (ajustable)
Microstepping	Configurable (1, 2, 4, 8, 16)
Protección contra sobrecalentamiento	Sí
Modos de operación	CW (sentido horario), CCW (sentido antihorario), CW/CCW (bidireccional), Pulso/dirección
Interfaz de control	Entrada de pulsos y dirección (PUL/DIR)
Aplicaciones típicas	Impresoras 3D, máquinas CNC, sistemas de automatización industrial.

2.2.7 Controlador DRV8825

El controlador DRV8825 es un dispositivo diseñado para controlar motores a pasos bipolares y unipolares. Se destaca por su capacidad para proporcionar un control preciso de la corriente, el microstepping y la dirección de rotación de los motores a pasos. Este controlador es ampliamente utilizado en aplicaciones que requieren un control detallado del movimiento, como impresoras 3D, máquinas CNC y sistemas de automatización. El dispositivo se ve en la Figura 10.

Figura 10.

Controlador DRV8825 (Fuente: Adafruit)



Este controlador es altamente versátil y adecuado para una amplia gama de aplicaciones que requieren un control detallado y preciso del movimiento de motores a pasos bipolares y unipolares. Su capacidad de ajuste de corriente, microstepping y protección contra sobrecalentamiento lo hacen muy popular en proyectos de electrónica y robótica. En la Tabla 7, se describen sus prestaciones.

Tabla 7.

Características del controlador DRV8825

Característica	Descripción
Tipo de motor	Paso a paso bipolar y unipolar
Voltaje de alimentación	8.2V a 45V
Corriente de salida	Hasta 2.5A (ajustable)
Microstepping	Configurable (1, 2, 4, 8, 16, 32)
Protección contra sobrecalentamiento	Sí
Modos de operación	CW (sentido horario), CCW (sentido antihorario), CW/CCW (bidireccional), Pulso/dirección
Interfaz de control	Entrada de pulsos y dirección (PUL/DIR)
Aplicaciones típicas	Impresoras 3D, máquinas CNC, sistemas de automatización industrial.

2.3 Experimentación con distintos tipos de sensores

En primer lugar, se diseñó un experimento que permitiera realizar las pruebas en igualdad de condiciones para todos los sensores. Para ello se creó una base rectangular plana en la que se colocaron los sensores a comparar. Posteriormente, se fabricaron bases individuales con una distancia de 150mm entre el principio de rango del sensor y una pared. Los diseños se pueden ver en la

Figura 11.



Figura 11.

Diseño de bases para experimentación en Fusion 360®



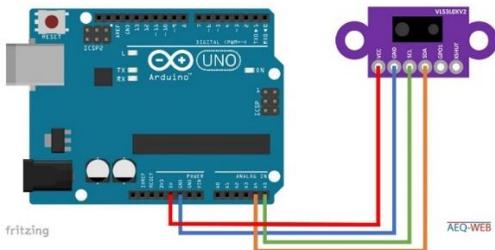
La prueba se llevó a cabo con la placa Arduino Uno que tiene como componente principal un microcontrolador ATMEGA328P al cual se conectaron cada uno de los sensores de manera individual. Para recabar los datos se programó una interfaz visual en Python a través de la librería Tkinter.

2.3.1 Pruebas con sensor VL530X

El circuito utilizado para este sensor se muestra en la Figura 12. Al ser un sensor con interfaz I2C, solamente requiere las conexiones de alimentación (VCC y GND) y las de comunicación (SDA, SCL)

Figura 12.

Circuito de prueba sensor VL530X en Fritzing®



El código utilizado se muestra en el Código Fuente 1, en donde se emplea la librería de Pololu® que es el fabricante principal de la placa del sensor. Entre las configuraciones principales se encuentra en Alta precisión y se realizan 100 lecturas cada 50ms enviadas por el puerto serial.

Código Fuente 1.

Código de prueba VL530x

```

1 #include <Wire.h>
2 #include <VL53L0X.h>
3
4 VL53L0X sensor;
5
6 void setup()
7 {
8   Serial.begin(115200);
9   Wire.begin();
10
11  sensor.setTimeout(500);
12  if (!sensor.init())
13  {
14    Serial.println("Failed to detect and initialize sensor!");
15    while (1) {}
16  }
17  sensor.setMeasurementTimingBudget(200000);

```

```

18 }
19 void loop()
20 {
21   if(Serial.available()>0){
22     char adato = Serial.read();
23     if(adato == 'S'){
24       for(int i=0; i<100; i++){
25         Serial.println(sensor.readRangeSingleMillimeters());
26         delay(50);
27       }
28       Serial.println("$");
29       adato = " ";
30     }
31   }
32 }

```

Los resultados cuantitativos del experimento se presentan en la Tabla 8, así como la representación gráfica de las mediciones realizadas se muestran en la Figura 13.

Figura 13.

Resultado de las mediciones con el sensor VL530X

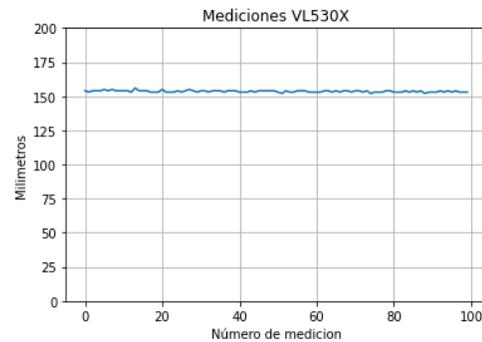


Tabla 8.

Resumen de resultados sensor VL530X

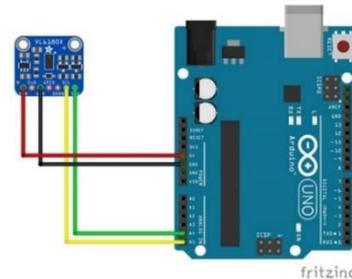
Dato estadístico	Valor obtenido
Promedio	153.57mm
Desviación estándar	0.67mm
Valor máximo	156.00mm
Valor mínimo	152.00mm

2.3.2 Pruebas con el sensor VL6180X

Para el sensor VL6180X se armó el mismo circuito que el anterior, esto debido a que son de la misma familia con diferentes características y aplicaciones. El circuito se muestra en la Figura 14.

Figura 14.

Circuito de prueba del sensor VL6180X en Fritzing®



El código utilizado se muestra en el Código Fuente 2, en donde se emplea la librería de Pololu® que es el fabricante principal de la placa del sensor. Entre las configuraciones básicas se encuentra en Alta precisión y se realizan 100 lecturas cada 50ms enviadas por el puerto serial.

Código Fuente 2.

Código de prueba sensor VL6180X

```

1
2 #include <Wire.h>
3 #include <VL6180X.h>
4 VL6180X sensor;
5 void setup()
6 {
7   Serial.begin(115200);
8   Wire.begin();
9   sensor.init();
10  sensor.configureDefault();
11  sensor.setTimeout(500);
12 }
13 void loop()
14 {
15   if(Serial.available()>0){
16     char adato = Serial.read();
17     if(adato == 'S'){
18       for(int i=0; i<100; i++){
19         Serial.println(sensor.readRangeSingleMillimeters());
20         delay(50);
21       }
22       Serial.println("$");
23       adato = " ";
24     }
25   }

```

El experimento se repitió con las mismas características que el sensor VL530X, la gráfica de los datos obtenidos se muestra en la Figura 15. De igual forma, la Tabla 9 muestra un resumen de los resultados estadísticos.

Figura 15.

Resultados de las mediciones con el sensor VL6180X

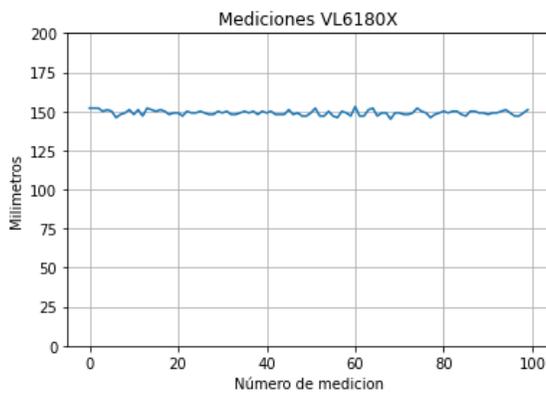


Tabla 9.

Resumen de resultados sensor VL6180X

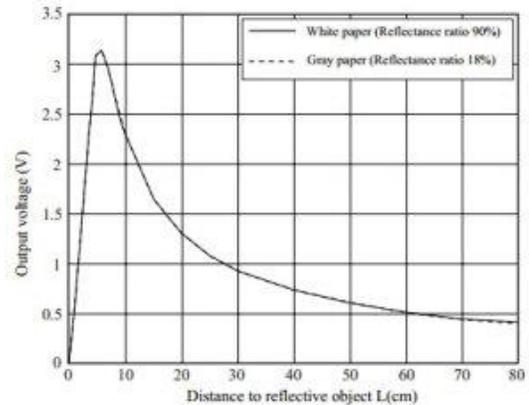
Dato estadístico	Valor obtenido
Promedio	149.06mm
Desviación estándar	1.59mm
Valor máximo	153.00mm
Valor mínimo	145.00mm

2.3.3 Sensor infrarrojo SHARP 2Y0A21

En el caso del sensor infrarrojo SHARP se cambia la metodología de medición, ya que su principio de funcionamiento no corresponde a un protocolo digital si no a una salida analógica en función de la distancia medida. Uno de los inconvenientes de este sensor es que sus lecturas no son lineales. Es decir, es necesario realizar una regresión lineal para la conversión del dato analógico a salida. En la Figura 16, se muestra la gráfica de salida proporcionada por el fabricante.

Figura 16.

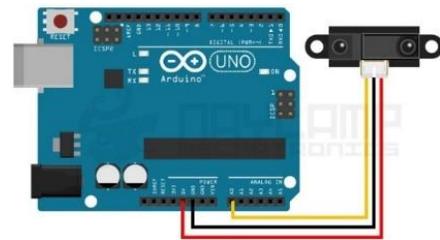
Gráfica de comportamiento de fábrica del sensor SHARP.



Teniendo en consideración las cuestiones anteriormente mencionadas se armó el circuito que se presenta en la Figura 17. Así mismo, el Código Fuente 3 presenta donde fue programada la ecuación de regresión para calcular la distancia en función del voltaje leído por el conversor analógico digital.

Figura 17.

Circuito de prueba sensor SHARP en Fritzing®



Código Fuente 3.

Código de prueba sensor SHARP

```

1 void setup() {
2   // Comunicación serial a 9600 baudios
3   Serial.begin(115200);
4   pinMode(13, OUTPUT);
5 }
6 void loop() {
7   if(Serial.available()>0){
8     char adato = Serial.read();
9     if(adato == 'S'){
10      for(int i=0; i<100; i++){
11        Serial.println(distancia(20));
12        delay(50);
13      }
14      Serial.println("$");
15      adato = " ";
16    }
17  }
18 }

```

```

19 float distancia(int n)
20 {
21   long suma=0;
22   int lectura=analogRead(A0);
23   float distancia_cm = 175697 * pow((float)lectura, -1.2062);
24   return(distancia_cm);
25 }

```

Al repetir los experimentos de los sensores anteriores se obtuvieron los resultados que se muestra en la Tabla 10, y la Figura 18.

Figura 18.
Resultados de las mediciones con el sensor SHARP en Python®

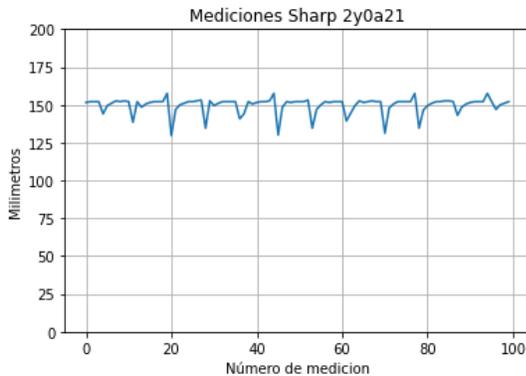


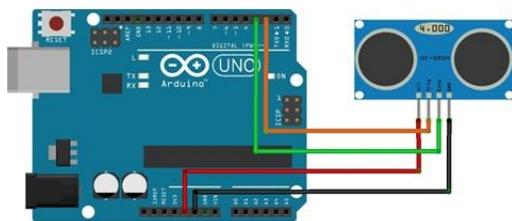
Tabla 10.
Resumen de resultados sensor SHARP.

Dato estadístico	Valor obtenido
Promedio	149.82mm
Desviación estándar	5.41mm
Valor máximo	157.58mm
Valor mínimo	129.64mm

2.3.4 Sensor ultrasónico HC-SR04.

Por último, se puso a prueba el sensor con tecnología ultrasónica modelo HC-SR04 el cual mide el tiempo que tarda una onda ultrasónica emitida al ser escuchada por el receptor. El circuito de prueba se muestra en la Figura 19. Y el Código Fuente 4 presenta el código utilizado.

Figura 19.
Circuito de prueba sensor HC-SR04 en en Fritzing®



Código Fuente 4.
Código de prueba sensor HC-SR04

```

1 #define Trigger 2 //Pin digital 2 para el Trigger del sensor
2 #define Echo 3 //Pin digital 3 para el Echo del sensor
3
4 long t; //timepo que demora en Llegar el eco
5 float d; //distancia en centimetros
6
7 void setup() {
8   Serial.begin(115200); //iniciaizlamos la comunicación
9   pinMode(Trigger, OUTPUT); //pin como salida

```

```

10 pinMode(Echo, INPUT); //pin como entrada
11 digitalWrite(Trigger, LOW); //Inicializamos el pin con 0
12 }
13 void loop()
14 {
15   if(Serial.available()>0){
16     char adato = Serial.read();
17     if(adato == 'S'){
18       for(int i=0; i<100; i++){
19         Serial.println(medir_distancia());
20         delay(50);
21       }
22       Serial.println("$");
23       adato = " ";
24     }
25   }
26 }
27 }
28 float medir_distancia(){
29   digitalWrite(Trigger, HIGH);
30   delayMicroseconds(10); //Enviamos un pulso de 10us
31   digitalWrite(Trigger, LOW);
32
33   t = pulseIn(Echo, HIGH); //obtenemos el ancho del pulso
34   d = (float)t/5.9;
35   return d;
36 }

```

Como se puede observar en la gráfica de la Figura 20, este sensor muestra una mejor repetibilidad en comparación con los otros dispositivos probados. De igual forma, los resultados estadísticos de la Tabla 11 comprueban el resultado visual.

Figura 20.
Mediciones del sensor ultrasónico HC-SR04 en Python®

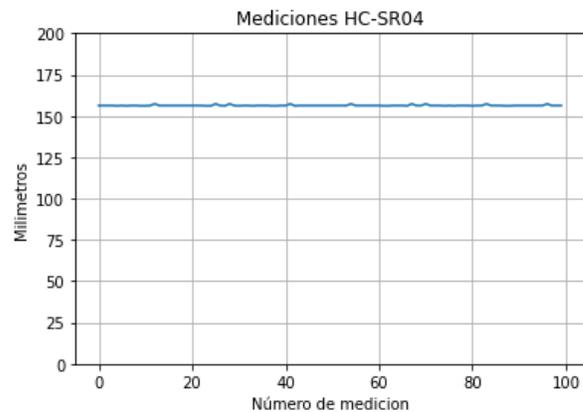


Tabla 11.
Resumen de resultados sensor HC-SR04.

Dato estadístico	Valor obtenido
Promedio	156.33mm
Desviación estándar	0.31mm
Valor máximo	157.29mm
Valor mínimo	156.10mm

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Montaje de la estructura

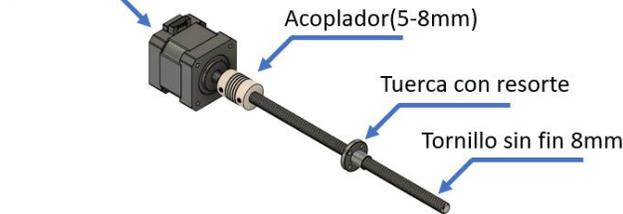
De acuerdo a los estudios realizados en el estado del arte, se optó por el uso de un actuador lineal basado en un movimiento angular generado por un motor paso a paso NEMA17 que se transmite a un tornillo sin fin de 8mm de diámetro y 200mm de

largo. Este último contiene una tuerca con resorte permitiendo el movimiento de un objeto anclado a dicho tornillo. Para la transmisión del movimiento se usa un acoplador conectado al eje del motor ya que éste tiene un diámetro de 5mm y el tornillo 8mm. El acoplador se encuentra anclado a través de tornillos opresores. Este arreglo puede verse en la Figura 21.

Figura 21.

Acoplamiento del tornillo sin fin al motor en Fusion 360®

Motor Nema 17

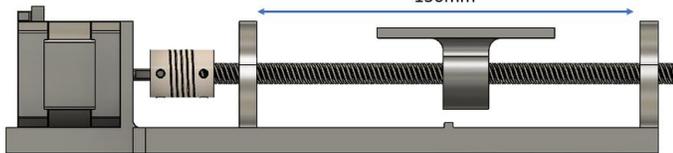


Tomando como referencia la medida del largo del tornillo sin fin, se establece el rango de movimiento de la cama anclada a la tuerca con resorte tomando en consideración la distancia que se emplea en la unión del tornillo y el motor. Para fines prácticos se define una distancia de 150mm entre las estructuras laterales del actuador como se ilustra en la Figura 22.

Figura 22.

Región activa de medición del dispositivo Fusion 360®

150mm

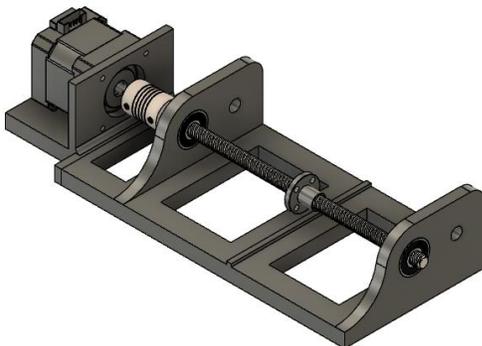


Con la distancia activa definida se procedió a realizar el diseño de las partes giratorias. Se usaron rodamientos 608 2RS con un diámetro interno de 8mm en cada extremo o final de carrera como se muestra en la

Figura 23.

Figura 23.

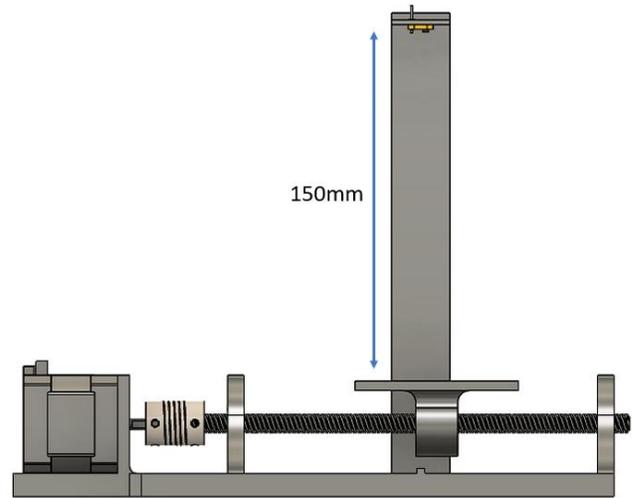
Rodamientos para reducción de fricción en movimiento Fusion 360®



Para el sensor de distancia se optó por la implementación de una barra guía que está separada 150mm de la cama principal donde se colocará el objeto a medir. Se tomó en cuenta que el sensor estuviera centrado a la base móvil con la intención de mejorar las lecturas del dispositivo. Esto se ve en la Figura 24.

Figura 24.

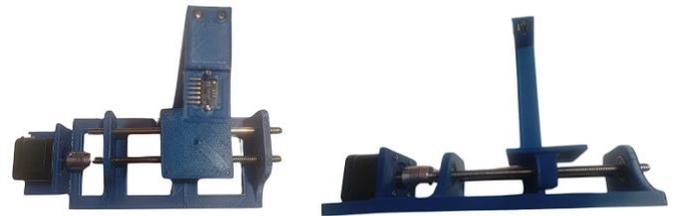
Ubicación de la barra del sensor Fusion 360®



Cuando se terminaron los diseños en software especializado se fabricó utilizando impresión 3D. Los resultados del montaje se pueden visualizar en la Figura 25.

Figura 25.

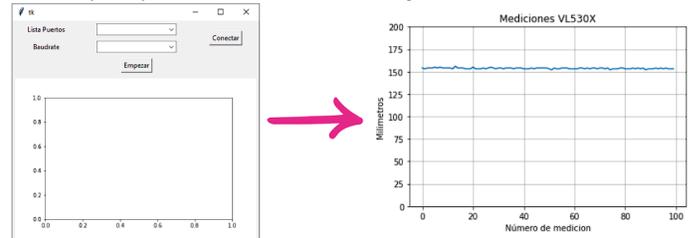
Montaje del actuador lineal



Por último, se desarrolló la interfaz en Python para la adquisición de las mediciones de forma gráfica. La pantalla principal se ve en la Figura 26.

Figura 26.

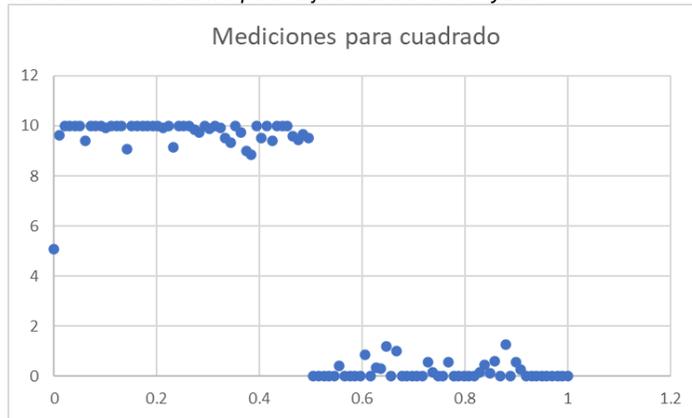
Pantalla principal de la interfaz visual en Python®



Con el fin de validar el funcionamiento del sistema, se realizaron pruebas con objetos impresos en 3D como referencia. En la , se muestran los resultados gráficos de un cuadrado. Puede observarse que existen mediciones que se alejan una de otra, esto debido a las vibraciones mecánicas del dispositivo. Sin embargo, se puede identificar el patrón de la figura geométrica.

Figura 27.

Resultados de medición para objeto cuadrado en Python®

**Figura 28.**

Resultados de medición para objeto triangular en Python®



IV. CONCLUSIONES

En el presente estudio, se ha demostrado la implementación y evaluación de diferentes sensores para la medición de distancias mediante el uso de una plataforma de prueba controlada por un microcontrolador Arduino. Se realizaron pruebas con sensores de diferentes tecnologías, incluyendo sensores infrarrojos, ultrasónicos y de tiempo de vuelo (ToF). Los resultados obtenidos indicaron variaciones en precisión y repetibilidad entre los diferentes dispositivos evaluados.

El sensor ultrasónico HC-SR04 mostró una mejor repetibilidad y menor desviación estándar en comparación con los otros sensores probados, lo que sugiere que este sensor es más adecuado para aplicaciones que requieren mediciones consistentes a distancias cortas. Los sensores de tiempo de vuelo VL530X y VL6180X también presentaron buen desempeño, aunque con una ligera variabilidad en las mediciones. Por otro lado, el sensor infrarrojo SHARP presentó mayores desviaciones, lo cual se atribuye a la naturaleza no lineal de sus lecturas.

En términos generales, los resultados de este estudio proporcionan una guía útil para la selección de sensores de distancia según los requisitos específicos de precisión y consistencia en aplicaciones prácticas. Además, la plataforma

desarrollada demuestra ser una herramienta efectiva para la evaluación comparativa de sensores de distancia.

Estos hallazgos pueden ser utilizados para optimizar sistemas de medición en diversas aplicaciones, desde robótica hasta sistemas de seguridad, donde la elección del sensor adecuado es crucial para el rendimiento del sistema.

En base a los resultados obtenidos, se identificaron áreas de mejora en la identificación de los patrones para trabajos posteriores, como el uso de algoritmos de inteligencia artificial. Así mismo, es necesario una mejora en el filtrado de las señales para tener mediciones más precisas con la finalidad de aumentar la calidad de los gráficos.

V. AGRADECIMIENTOS

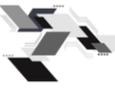
Agradecimientos al Tecnológico Nacional de México (TecNM) Campus Instituto Tecnológico Superior de Lerdo por las facilidades brindadas para la realización del presente trabajo.

También a la División de Ingeniería en Sistemas Automotrices y al Subdirección de Posgrado e investigación por el apoyo a la investigación realizada.

El presente trabajo se presenta en memoria del alumno Miguel Ángel Hernández Miramontes.

VI. REFERENCIAS

- Cock, J. (2020). El método de la triangulación aplicado en un escaner láser, para objetos tridimensionales. *Revista Universidad EAFIT*, 25-31.
- Corso, J. (2012). *Materiales y escáner láser de alta resolución*. Barcelona: UPC.
- Del Castillo, D. (2018). Desarrollo de un escáner 3D de bajo costo implementado por el método de triangulación espacial. *XIII Congreso de Ciencia y Tecnología ESPE 2018*, 45-48.
- Gesteira, S. (2023). *Sistema LiDAR de Navegación Autónoma en Interiores*. Universidad Politécnica de Catalunya.
- Meza, S. (2023). *Reconstrucción de Estructuras a Base de nube de puntos con un sensor lidar a bajo costo*. Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán Izcalli.
- Rezéndiz, J. (2012). Técnica de medición del desgaste de una herramienta de corte utilizando un sensor de desplazamiento láser. *Scientia et Technica*, 27-32.
- Rodríguez, C. (2013). *Interfaz inalámbrica para un lector de código de barra*. Salvador: Universidad de El Salvador.
- Serna, Á. (2021). *Programación, diseño y montaje de un robot móvil controlado por LIDAR y comandos de voz*. Valencia: Universitat Politècnica de València.
- Tipismana de la Cruz, G. (2023). *Monitorización 3D de construcciones mediante LIDAR de bajo coste*. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Velásquez, J. (2005). Diseño de un escaner láser 3D a partir de un sistema de medición láser 2D sick LMS 200. *Umbral Científico*, 83-90.
- Zvietcovich, F. (2011). *Estimación del volumen de lesiones producidas por Leishmaniasis cutánea utilizando un escáner láser de triangulación 3D*. Perú: Universidad Católica del Perú.



VII. AUTORES

Eduardo Machado Díaz

 <https://orcid.org/0000-0003-2610-7570>

Efraín Vaquera González

 <https://orcid.org/0009-0002-9123-6977>

Diego Alberto Román Landeros

 <https://orcid.org/0000-0002-0671-7577>