

**DISEÑO DE MÓDULOS PARA LA ADQUISICIÓN DE DATOS Y
CARACTERIZACIÓN DE SENSORES DE PROXIMIDAD CON PLC y HMI.**

ELVIA ROCÍO GUZMÁN CABALLERO

JOSÉ DANIEL SÁNCHEZ DÍAZ

**UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA, ELECTRÓNICA Y BIOMÉDICA
BOGOTÁ D.C
2020**

**DISEÑO DE MÓDULOS PARA LA ADQUISICIÓN DE DATOS Y
CARACTERIZACIÓN DE SENSORES DE PROXIMIDAD CON PLC y HMI.**

ELVIA ROCIO GUZMAN CABALLERO

JOSE DANIEL SANCHEZ DIAZ

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTROMECAÁNICO**

**DIRECTOR
INGENIERO
HUGO FERNEY ALBA DÍAZ**

**UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA, ELECTRÓNICA Y BIOMÉDICA
BOGOTÁ D.C
2020**

Nota de aceptación:

Director del proyecto

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

Bogotá D.C, 17 de Julio de 2020

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTO

Dedicado a mi madre quien con su apoyo incondicional estuvo a mi lado ayudándome a realizar cada uno de mis logros, a mi esposo que siempre estuvo hay dándome ánimo para no desfallecer y a mi compañero Daniel Sánchez con quien tuve la fortuna de realizar el proyecto y conocerlo como persona. Agradezco primeramente a Dios por darme la oportunidad de culminar esta etapa de mi vida y al ingeniero Hugo Alba, quien con su dedicación y conocimiento se logró sacar adelante este proyecto.

Rocío Guzmán Caballero

Dedico este trabajo a mis hijos, mis nietas que son mi apoyo y fuerza en la vida para lograr cada una de las metas que me propongo y a todos los compañeros quienes siempre estuvieron en mi proceso de aprendizaje hasta finalizar este objetivo, especialmente a mi compañera Rocío Guzmán con quien compartimos tiempo de calidad en la carrera y finalmente con quien realizamos este proyecto.

Agradezco a Dios por la oportunidad y sabiduría que me dio, igualmente al ingeniero Hugo Alba quien nos aportó valiosos conocimientos y tiempo importante para poder culminar este proceso.

José Daniel Sánchez

RESUMEN

El presente documento para graduación en la titulación de ingeniería electromecánica, se basa en el diseño y construcción de cinco módulos para la adquisición de datos, que contiene sensores de proximidad de tipo inductivo, capacitivo y óptico. Aunque estos módulos se pueden conectar a diversos dispositivos de control, están dirigidos a conectarse con los maletines de PLC y HMI que tiene la Universidad Antonio Nariño sede sur, con el fin de poder realizar prácticas para comprobar características constructivas de cada uno de los sensores (o su caracterización).

Cada módulo contiene tres sensores de proximidad (inductivo, capacitivo y réflex) los cuales están ubicados en un soporte individual, para los sensores de corto alcance se tienen dos soportes uno fijo y uno móvil, este último está conectado a un potenciómetro que permite medir la distancia de censado (Fig.1), para el sensor réflex este es fijo y está anclado a la base del módulo (Fig. 3).

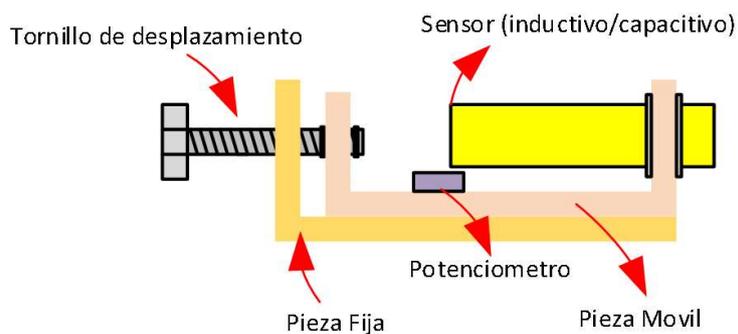


Figura 1. Soporte y mecanismo de desplazamiento sensor (inductivo y/o capacitivo)

Adicionalmente en los módulos hay un motor paso a paso en el cual se fijó el soporte para las probetas, las cuales serán detectadas por los sensores en las diferentes pruebas que se hagan. (Fig.2).

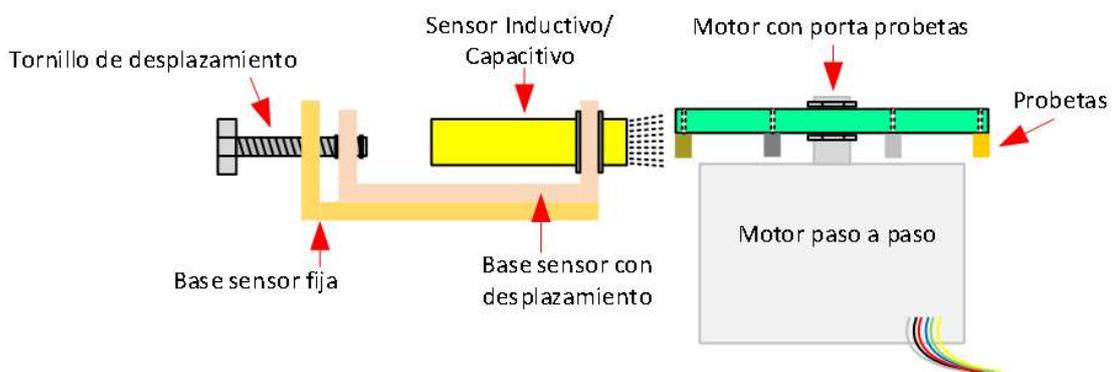


Figura 2. Mecanismo de funcionamiento Motor – probetas – sensor

Para el sensor óptico que se instaló en cada módulo, hubo un problema con la distancia tan larga de detección de esta clase de sensores ya que el tamaño final del módulo debe ser manejable, acorde con las dimensiones de los maletines y su uso didáctico, por lo tanto, para este caso el desplazamiento lo realiza la probeta a lo largo de un soporte debidamente marcado por una escala numérica.



Figura 3. Sensor réflex y probeta

Una vez se contemplaron las consideraciones de tamaño, se realizó un pre-diseño del módulo, para determinar la ubicación de los elementos, a medida que se construía, se realizaron los cambios pertinentes, hasta llegar al modelo final, del cual se realizaron 5 módulos los cuales se probaron y se demostró que son compatibles con los maletines PLC.

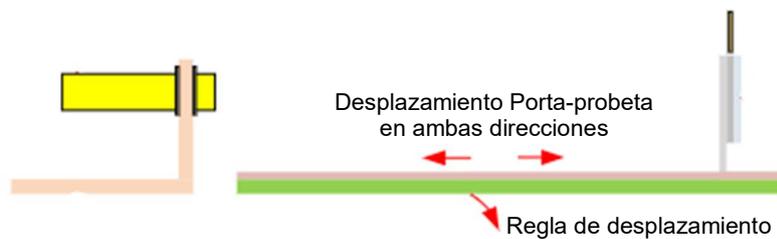


Figura 4. Diseño final del modelo sensor óptico

Palabras clave: Diseño, Construcción, Adquisición, Datos, Caracterización, Motor paso a paso, Potenciómetro, Sensor inductivo, Sensor capacitivo, Sensor óptico, Regulador de volaje, Probeta.

ABSTRACT

This document for graduation in the electromechanical engineering degree, is based on the design and construction of five modules for data acquisition, containing proximity sensors of inductive, capacitive and optical type. Although these modules can be connected to various control devices, they are aimed at connecting with the PLC and HMI briefcases that the Antonio Nariño University has in the southern headquarters, in order to be able to carry out practices to check the constructive characteristics of each of the sensors (or its characterization).

Each module contains three proximity sensors (inductive, capacitive and optical) which are located in an individual support, for short-range sensors there are two supports, one fixed and one mobile, the latter is connected to a potentiometer that allows measuring the sensing distance (Fig. 1), for the optical sensor it is fixed and is anchored to the base of the module (Fig. 3).

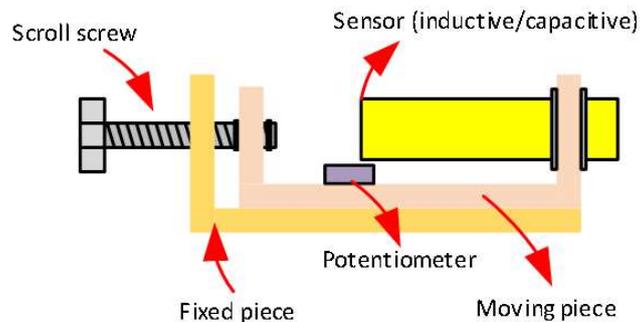


Figure 1. Support and sensor displacement mechanism (inductive and / or capacitive)

Additionally, in the modules there is a stepper motor in which the support for the specimens was fixed, which will be detected by the sensors in the different tests carried out. (Fig. 2).

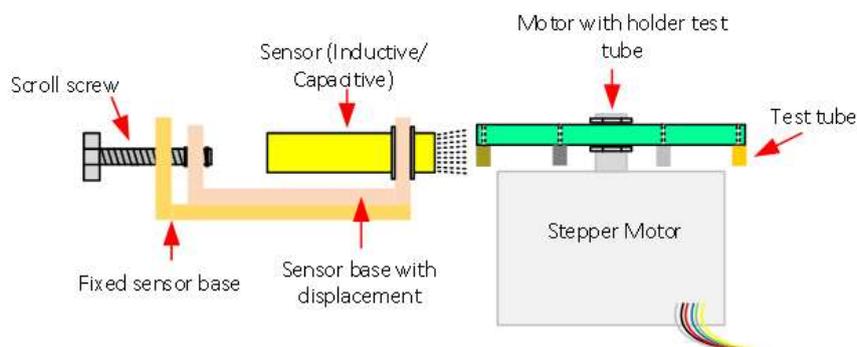


Figure 2. Mechanism of functioning Motor – test pieces – sensor

For the optical sensor that was installed in each module, there was a problem with the long detection distance of this type of sensor since the final size of the module must be manageable, according to the dimensions of the briefcases and their

didactic use, for therefore, in this case, the displacement is carried out by the Test pieces along a support duly marked by a numerical scale.

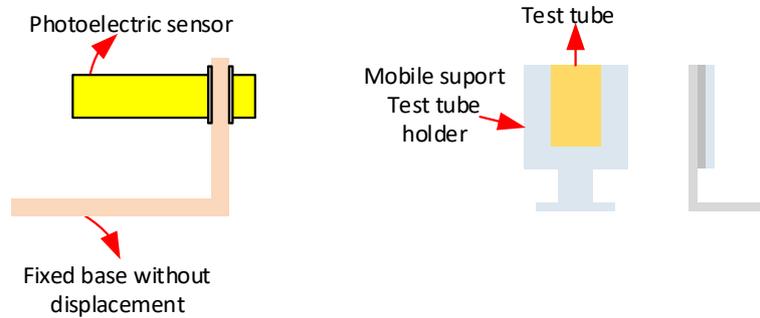


Figure3. Sensor optical and test pieces

Once the size contemplated were considered, a pre-design of the module was carried out, to determine the location of the elements, as it was built, the pertinent changes were made, until reaching the final model.

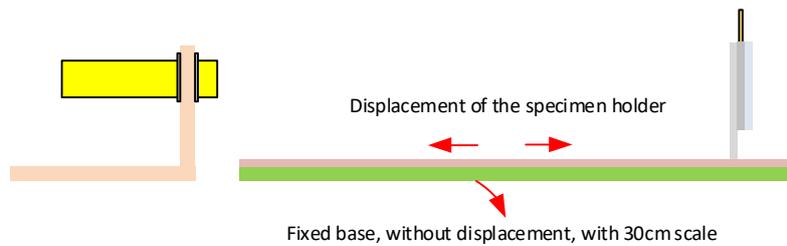


Figure 4. Final design of the optical sensor model

Keywords: Design, Construction, Acquisition, Data, Characterization, Stepper motor, Potentiometer, Inductive sensor, Capacitive sensor, Optical sensor, Voltage regulator, Test Tube.

CONTENIDO

1. INTRODUCCION	13
1.1. ANTECEDENTES	14
1.2. JUSTIFICACIÓN	16
2. MARCO TEÓRICO	17
2.1. PLC:	17
2.2. Sensor de proximidad	18
2.2.1. Sensor capacitivo.....	19
2.2.2. Sensor Inductivo	21
2.2.3. Sensor óptico	24
2.3. Motor paso a paso:	26
2.3.1. Motor paso a paso de imán permanente.....	27
2.3.1.1. Unipolares	27
2.3.1.2. Bipolares.....	27
2.3.2. Motor paso a paso hibrido.....	28
2.4. Potenciómetros:	28
2.5. Regulador de voltaje	29
3. OBJETIVOS	32
3.1. Objetivo General	32
3.2. Objetivos específicos	32
4. METODOLOGÍA	33
4.1. Recolección de datos	34
4.2. Análisis de información	35
4.2.1. Material de la estructura.....	35
4.2.2. Selección de sensores	36
4.2.3. Selección de potenciómetro.....	37
4.2.4. Selección del Motor paso a paso	39
4.2.4.1. Precisión y resolución:.....	40
4.2.4.2. Potencia eléctrica:	41
4.2.4.3. Calculo del número de pulsos que debe generar el PLC para una posición determinada:.....	41
4.2.4.4. Frecuencia de pulsos para obtener el tiempo de movimiento:.....	42
4.2.4.5. Determinación del Torque requerido del motor:	44

4.3. Propuesta y definición	49
4.3.2. Características técnicas de los sensores	50
4.4. Construcción Del Modulo	51
4.4.1. Soportes de sensores	51
4.4.2. Soportes de probetas	52
4.4.3. Soporte del motor	54
4.4.4. Estructura del módulo	55
4.4.5. Montaje en el banco	56
4.4.6. Material de modulo	56
4.5. Análisis de resultados	57
5. Costos del proyecto	61
6. Guías de conexión del banco a los PLC	63
6.1. Conexión a sensores	63
6.2. Conexión del motor	63
6.3. Conexión potenciómetro	64
7. Guías de trabajo	65
8. Conclusiones	66
9. Bibliografías	67
10. Anexos	68

LISTA DE GRAFICAS

Figura 1. Soporte y mecanismo de desplazamiento sensor (inductivo y/o capacitivo)	4
Figura 2. Mecanismo de funcionamiento Motor – probetas – sensor	4
Figura 3. Sensor réflex y probeta	5
Figura 4. Diseño final del modelo sensor óptico.....	5
Figura 5. Proceso PLC	17
Figura 6. Sensor de proximidad capacitivo	19
Figura 7. Funcionamiento sensor Capacitivo	19
Figura 8. Forma de onda sensor Capacitivo.....	20
Figura 9. Salidas de sensor capacitivo	21
Figura 10. Sensor de proximidad Inductivo	21
Figura 11. Funcionamiento sensor Inductivo.....	22
Figura 12. Forma de onda sensor Inductivo.....	22
Figura 13. Salidas de sensor Inductivo	23
Figura 14. Sensor Óptico (fuente propia)	24
Figura 15. Funcionamiento sensor Óptico.....	24
Figura 16. Sensor óptico Réflex	25
Figura 17. Motor pasó a paso.....	26
Figura 18. Potenciómetro	28
Figura 19. Tipos de potenciómetro.....	28
Figura 20. Variación resistencia potenciómetro.....	29
Figura 21. Diagrama interno de un regulador.....	30
Figura 22. Modulo guía	34
Figura 23. Potenciómetro deslizante	37
Figura 24. Potenciómetro deslizante de 50K	41
Figura 25. Potenciómetro deslizante de 1K.....	37
Figura 26. Conexión de divisor de tensión	38
Figura 27. Circuito de regulación de voltaje DC – DC	39
Figura 28. Diagrama del motor paso a paso	40
Figura 29. Diagrama de pulsos del motor	40
Figura 30. Pulso par – arranque.....	42
Figura 31. Perfil trapezoidal.....	43
Figura 32. Pre-diseño del módulo	49
Figura 33. Prototipo de soporte de sensor inductivo/capacitivo inicial (fuente propia)	51
Figura 34. soporte de sensor inductivo/capacitivo definitivo (fuente propia)	51
Figura 35. Porta-probetas primer diseño	52

Figura 36. Porta-probetas diseño final y probetas diferente material	52
Figura 37. Porta-probetas con un solo material SAE 1018	53
Figura 38. Porta- probeta réflex (inicial)	53
Figura 39. Porta- probeta réflex (definitivo)	54
Figura 40. Probeta diferente material sensor óptico.....	54
Figura 41. Soporte motor (inicial)	55
Figura 42. Soporte motor (definitivo).....	55
Figura 43. Estructura modulo	56
Figura 44. Distancia cercana de sensor a probetas	57
Figura 45. Distancia más lejana de detección sensores	57
Figura 46. Distancia de detección sensor réflex.....	59
Figura 47. Conexión del motor a Fuente	60
Figura 48. Conexión sensores del módulo al maletín PLC.....	63
Figura 49. Conexión del motor en modulo al maletín PLC	63
Figura 50. Conexión potenciómetro del módulo al maletín PLC.....	64

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Comparativo reguladores	31
Tabla 2. Comparación de costos del modulo	35
Tabla 3. Ventajas, desventajas y aplicaciones de los sensores	36
Tabla 4. Peso de probetas	45
Tabla 5. Inercia de las probetas	46
Tabla 6. Ficha técnica salida por RELE	47
Tabla 7. Ficha técnica salida con TRANSISTOR	48
Tabla 8. Características técnicas de los sensores.	50
Tabla 9. Distancia de detección sensor inductivo.....	58
Tabla 10. Distancia de detección sensor capacitivo.....	58
Tabla 11. Distancia de detección sensor Réflex.....	59
Tabla 12. Movimiento de giro de eje del motor.....	60
Tabla 13. Tabla de costos mano de obra	61
Tabla 14. Tabla costos equipos y software	61
Tabla 15. Tabla valor del modulo	61
Tabla 16. Tabla costos varios del proyecto	62

1. INTRODUCCION

La universidad Antonio Nariño sede sur, cuenta con 5 maletines didácticos con PLC y HMI para la facilitar la enseñanza de asignaturas relacionadas con estos elementos. Pero hasta el momento su uso es limitado debido a que las señales de entrada son simuladas, por lo cual se propuso diseñar y construir unos módulos que estuvieran en la capacidad de suministrar señales reales de sensores a estos maletines basados en un banco existente que hace parte de un proyecto del 2017, la finalidad de los módulos propuestos es que estos sirvan como apoyo didáctico a las practicas que se realicen.

Los módulos cuentan con tres tipos de sensores de proximidad (inductivo, capacitivo, réflex), un motor paso a paso, probetas de diferente tipo de material, con los cuales se proponen prácticas de: Caracterización de Sensores, Control de Velocidad de un Motor Paso a Paso y Control de proximidad ON-OFF.

En los procesos de automatización y control se utilizan sensores, para capturar las magnitudes físicas, por eso es necesario conocer las características de los sensores, por ejemplo: rango de censado, frecuencia, tipo de salida, voltaje de operación, entre otros.

La programación para ejecutar las practicas se realiza en el software de los PLC's de los maletines el cual ya es conocido y utilizado por docenes y estudiantes (PFWIN Pro), junto con los módulos se realizan pruebas con los sensores y se obtienen señales reales.

En el actual documento se plasmaron los diseños de la estructura del módulo, de cada uno de los soportes para los elementos que contiene, indicando los cambios realizados a lo largo del proceso para obtener un módulo funcional, practico, sencillo y de fácil uso para las practicas a realizar.

También se incluyen conceptos de sensores y motores, así como las características de los elementos utilizados y las simulaciones que se pueden aplicar para la realización de las guías propuestas.

1.1. ANTECEDENTES

Los sensores son herramientas que existen desde hace mucho tiempo, ha sido difícil conocer con exactitud en qué momento se crearon, ni cuando se volvieron tan importante en los procesos industriales, se puede señalar que surgieron por la necesidad de percibir las sensaciones que no podemos detectar de manera sencilla y precisa, el cuerpo experimenta sensaciones como dolor, calor, duro, frío, blando, fuerte, flojo, agradable, desagradable, pesado, liviano y poco a poco le ha ido añadiendo adjetivos calificativos a estas sensaciones para cuantificarlas e incluso ya se tienen unidades de medida para mejorar su interpretación.

Por eso, cobra bastante importancia el conocer, palpar, trabajar y aprender a usar esta herramienta tan importante, no solo a nivel industrial ya que los sensores los encontramos en todas las aplicaciones de nuestra vida, como en la medicina, ingeniería mecánica, mecatrónica, electrónica, sistemas, espacial, y prácticamente en cualquier campo que necesitemos una medida, posición o movimiento, allí está incluido un sensor.

En los procesos industriales automáticos, se utilizan sensores para detectar medidas y controlar la secuencia programada, de esta manera se incorporan los sensores para definir unidades como temperatura, proximidad, por citar alguna, esto hace que sea imprescindible conocer las diferencias existentes entre los sensores para incluir al proceso el que mejor se adapte, ya sea por la magnitud a censar, por su tensión de alimentación, tipo de respuesta o su propio funcionamiento.

Además de los sensores también es necesario saber que los motores paso a paso aparecieron a principios del siglo pasado con la primera inversión por parte de Walker donde la estructura era de diente de estator y rotor, con el paso del tiempo el motor se fue reinventando hasta llegar a consolidarse como un aparato que transforma una señal de pulsos por un movimiento rotatorio.

Por lo anterior estos elementos (sensores y motor) se implementaron en el módulo que aquí se hace referencia, basados en la tesis existente de la universidad Antonio Nariño del año 2017 cuyo título es Puesta en Funcionamiento de Dos Bancos de Trabajo con Sensores Inductivos, Capacitivos y Fotoeléctricos para Practicas de Mando y Control Eléctrico en el Laboratorio de Mando y Control, realizada por los alumnos, Giovanni Darío Baquero Bustos, y Cristian Fernando Hernández Giraldo y compañías como FESTO, los cuales fabrican módulos didácticos que son versátiles, de gran tamaño y alto costo.

Actualmente la Universidad Antonio Nariño sede sur cuenta con 5 maletines PLC marca Panasonic y una HMI, los cuales se programan a través del software FPWIN Pro, que permite realizar pruebas de programación y control, simulando los sensores, sin embargo, las pruebas y/o prácticas no se realizan por falta de un módulo adaptado para dicho fin.

De la tesis mencionada existe un solo banco, el cual no es suficiente para el número de alumnos y/o grupos, por lo cual tomando como base su diseño se adaptó a un concepto más cómodo, sencillo, liviano y fácil de transportar que contara con sensores inductivos, capacitivos y ópticos, así como un motor paso a paso, construyendo la misma cantidad que los maletines existentes, es decir, cinco (5) módulos.

1.2. JUSTIFICACIÓN

La Universidad Antonio Nariño sede sur, cuenta con 5 maletines, cada uno de ellos con un PLC y una HMI para realizar prácticas de laboratorio, pero no dispone actualmente con los medios para realizar pruebas de manera física, realizando solamente pruebas simuladas.

Por esta razón, nace la idea de diseñar y fabricar cinco (5) módulos que servirán como complemento a cada uno de los maletines con PLC y HMI, que sean de fácil conexión, seguros para utilizar y que contengan un sensor inductivo, un sensor capacitivo, un sensor óptico, un motor paso a paso, potenciómetros y probetas de diferentes materiales, para poder aplicar las señales de manera práctica y real, realizar la caracterización de cada uno de los sensores, para entender el funcionamiento de los mismos, su aplicación, diferencias y para determinar sus posibles usos.

Al realizar pruebas con los sensores, es posible recoger información importante que la podemos llevar al PLC y poder utilizar a su vez la Pantalla HMI, con las cuales se pueden analizar señales emitidas por los sensores, además, sirve como base para conocer, otros tipos de control y adquisición de datos, así como el análisis de los mismos y su programación.

Estos módulos están diseñados para adaptarse a otros equipos que contengan microprocesadores, tarjetas de adquisición de datos, sistemas Arduino, entre otros sistemas donde se requiera la actividad de sensores. Se diseñaron de tal manera que no ocuparan mucho espacio por lo que se pueden ubicar en un banco de trabajo o una mesa, son fáciles de transportar, son livianos teniendo en cuenta el material en el que se construyeron (lámina acrílica), son didácticos, ya que, se pueden ver la conexiones, están identificados cada uno de los elementos que lo componen.

Las prácticas de laboratorio que se pueden realizar con los módulos, son de importancia para las materias y/o programas con los que cuenta actualmente la Universidad Antonio Nariño, como son: Las Ingenierías, Biomédica, Electrónica, Control y Automatización Industrial, Mecánica, Mecatrónica, y las Tecnologías, Gestión de Operaciones Industriales, Mecánica Automotriz.

2. MARCO TEÓRICO

Para el diseño de los módulos de sensores es necesario conocer las características de funcionamiento de cada uno de los elementos que intervendrán en el mismo, como son: Sensores, motor paso a paso, PLC, pantalla HMI y el software de manejo.

2.1. PLC:

El Controlador Lógico Programable o PLC, es un mecanismo electrónico empleado para ejecutar acciones automáticamente a un sistema o un equipo, activando funciones según la necesidad de control, registro y monitoreo con acceso remoto.¹

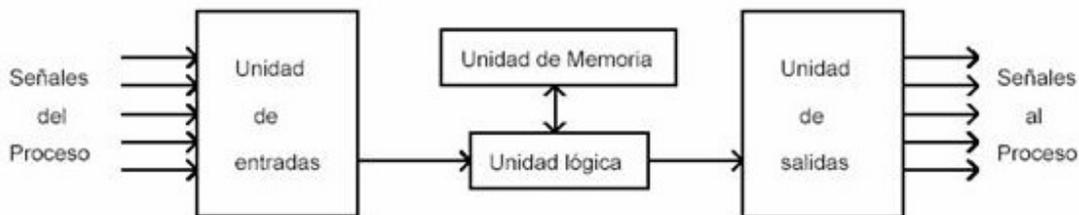


Figura 5. Proceso PLC

El PLC es un dispositivo electrónico utilizado para controlar de manera automática señales de una máquina, sistema o procesos industriales, por lo general se emplea para activar componentes que se encarguen de desarrollar actividades que son peligrosas para los seres humanos.

Funciones

- Detección: indicar la señal enviada por los sensores al momento de ser activados en el proceso.
- Mando: es la respuesta a la acción de los sensores, enviada a los contactares, relevos u otro tipo de actuador.
- HMI: mantener un dialogo entre el operado (humano) y el sistema (maquina), actualizando constantemente los cambios y actividades presentes en el proceso.
- Programación: introducir, elaborar y cambiar las ordenes de las actividades a realizar en el proceso, de manera lógica.
- Control de procesos continuos.²

¹ <https://intrave.wordpress.com/2015/02/20/para-que-sirve-un-plc/>

² <http://www.sc.ehu.es/sbweb/webcentro/automatica/WebCQMHI/PAGINA%20PRINCIPAL/PLC/plc.htm#Funciones%20b%C3%A1sicas%20de%20un%20PLC>

Aplicaciones

Las aplicaciones de los PLC en la industria son innumerables, ya que, hacen parte importante en la automatización, dentro de sus usos se pueden encontrar en:

- Maniobras en máquinas (Cemento, plástico, ensamble)
- Maniobras en instalaciones (Seguridad, calefacción y aire acondicionado, transporte y almacenamiento)
- Industria automotriz (Soldaduras, ensambles, fresadoras, torno) entre otras.

Ventajas

Como es tendencia la automatización en la industria y otros procesos de control los PLC aportan un numero enorme de ventajas, por citar algunas:

- Reducción en costos de la mano de obra, esto al realizar automáticamente las tareas con mayor precisión que una persona.
- Su instalación es sencilla, ocupa poco espacio y puede controlar varios equipos a la vez, de acuerdo a su programación.
- Monitorea los procesos, detectando fallas y generando alertas visuales y auditivas.
- Ahorro en los costos de operación, mantenimiento y en ocasiones de energía.

2.2. Sensor de proximidad

Es un dispositivo electrónico que es capaz de detectar la variación de una magnitud física, objetos u obstáculos, que no pueden ser percibidas directamente por los sentidos, sin la necesidad que exista contacto, toma, percibe o censa una señal proveniente del medio ambiente y la convierte en una señal de naturaleza transductible, es decir, en la variación de una magnitud eléctrica o magnética.

Existen sensores de indicación directa los cuales se conectan y cuando detectan una presencia cercana se activa indicando a través de una luz led su estado, estos son los sensores que se utilizan en los módulos.

Un sensor de proximidad tiene las siguientes características:

- Detectan objetos cercanos sin tocarlos.
- Los sensores inductivos y capacitivos tienen un rango de detección por el orden de los milímetros.
- Los sensores óptico o réflex tienen un rango de detección que alcanza distancias desde centímetro hasta metros.
- Existen sensores de tipo analógico y digitales.

Hay diversos tipos de sensor de proximidad, para este proyecto se utilizaron tres tipos:

- Sensor capacitivo.
- Sensor inductivo.
- Sensor fotoeléctrico.

2.2.1. Sensor capacitivo

Los sensores capacitivos reaccionan ante la variación en la capacidad de un condensador, esta variación provoca un cambio en la tensión y la corriente del circuito, produciendo un campo electrostático. Su funcionamiento es básicamente detectar el cambio en la capacitancia a causa de la distancia entre el sensor y el objeto a detectar.

El sensor de tipo es capaz de detectar diferentes tipos de materiales conductivos y no conductivos.



Figura 6. Sensor de proximidad capacitivo

Está compuesto por una placa ubicada en la parte trasera del sensor la cual es un condensador, al inyectar una corriente al sensor, produce un campo electrostático que ocasiona el cambio en la cantidad de energía almacenada por la cercanía de un objeto. Si el objeto no se encuentra en el campo electrostático pues, no se activa el sensor, al momento de acercarse este se enciende y detecta su presencia..³

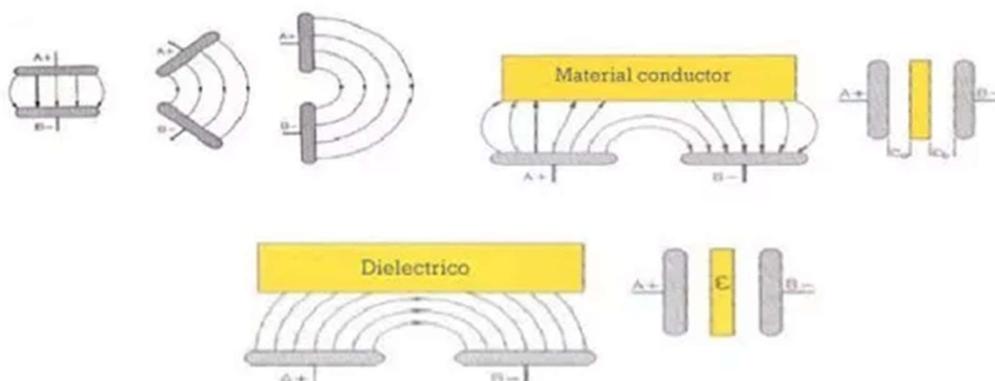


Figura 7. Funcionamiento sensor Capacitivo

³ <http://www.electronica2000.com/temas/sensores-proximidad-aplicaciones.htm>

Cuando el sensor detecta un objeto el campo electrostático que se genera entre los electrodos que componen el sensor hace que cambie la capacitancia en el circuito, oscilando la amplitud de la onda y cambia de acuerdo a la cercanía del objeto:

- Al no tener presencia el voltaje de oscilación es constante.
- A medida que se acerca el objeto se modifica la amplitud de la onda.
- Una vez lo detecta la onda es sinusoidal con frecuencia constante.

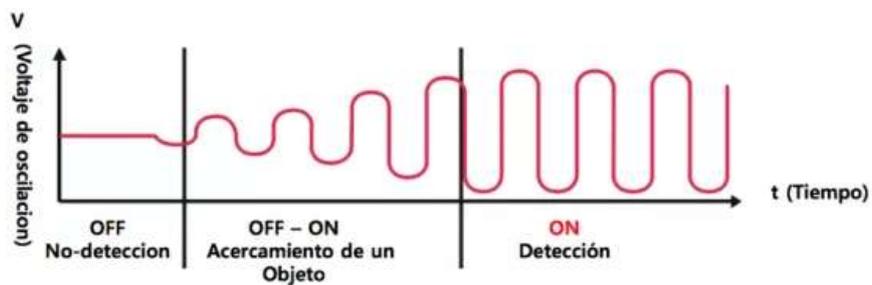


Figura 8. Forma de onda sensor Capacitivo

Funcionamiento:

Los sensores capacitivos tienen un funcionamiento que depende del objeto que se desea censar, ya que, la cercanía que tenga este con respecto al sensor hace que detecte con eficiencia o no, para ser efectivo se debe tener un alcance que este dentro del rango de censado.

El rango de censado está dado por distancias de operación determinadas, que se definen de la siguiente manera:

- **Rango de activación útil S_u :** hace referencia a la distancia en la que el sensor este dentro de los niveles de tensión y temperatura para los cuales fue diseñado ($0.72S_n \leq S_u \leq 1.2325S_n$).
- **Rango de activación asegurada S_a :** hace referencia a la distancia de activación en la que se garantiza que el sensor está en el rango de tensión y temperatura específicos ($0.72 \leq S_a \leq 0.72S_n$).

Aplicaciones de sensores capacitivos

- Detección de nivel de líquidos
- Detección de material solido de casi cualquier tipo.
- Contar piezas de metal, plástico, vidrio, papel y casi todo material.
- Posición de bandas transportadoras.
- Medir distancias cortas.

Tipos de sensores capacitivos

- De corriente continua, pueden ser de 2, 3, 4 Hilos.
- De corriente alterna.

La distancia de censado esta entre 5mm a 20mm, para los sensores de corriente continua.

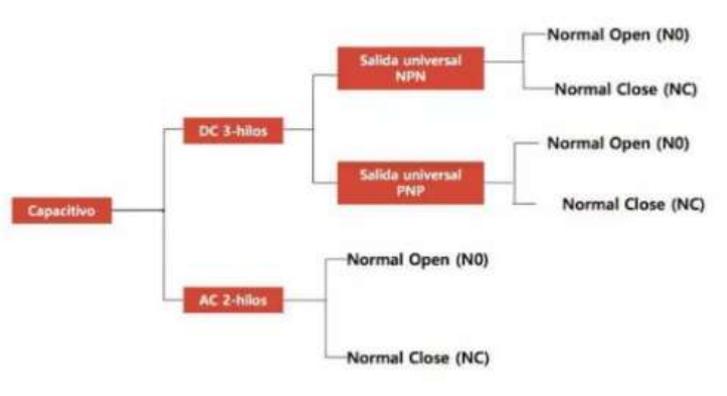


Figura 9. Salidas de sensor capacitivo

Para este proyecto se utilizó un sensor capacitivo marca Yue Qing Hengwei Electronics, referencia L JC18A3-B-Z/BY, ver anexo 4.x|

2.2.2. Sensor Inductivo

Los sensores inductivos, generan un campo magnético y cuando un objeto metálico se acerca se presentan pérdidas de corriente. El campo magnético está dado por una bobina con núcleo de ferrita, conectado a un oscilador, que a su vez se conecta a un amplificador de salida.



Figura 10. Sensor de proximidad Inductivo

Funcionamiento

Se tiene claro que el sensor inductivo genera un campo magnético y que cuando detecta un objeto metálico en este se va a crear una corriente estimulada por el campo existente (Corriente de Foucault) (Fig.12). A medida que el objeto se acerca al campo la onda sinusoidal varía de la siguiente manera (Fig. 13):

- No detecta objeto la onda se mantiene.
- A medida que se acerca la amplitud disminuye.
- En detección se vuelve constante la onda.
- Cuando el objeto se aleja la amplitud de la onda aumenta, hasta dejar de detectar y volver a una onda sinusoidal pura.⁴

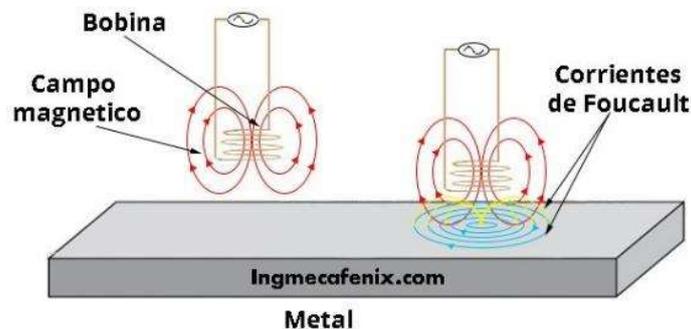


Figura 11. Funcionamiento sensor Inductivo

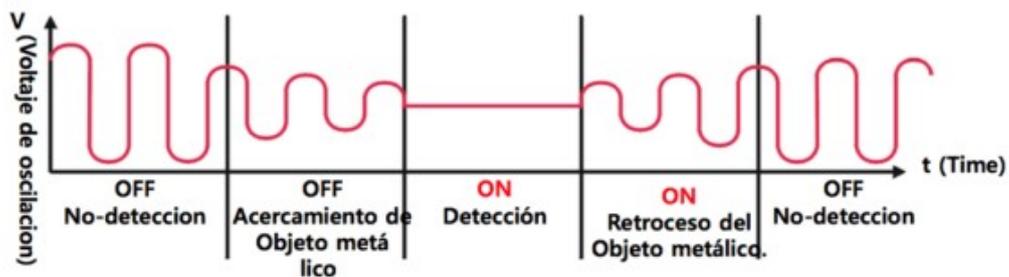


Figura 12. Forma de onda sensor Inductivo

La diferencia de los materiales en cuanto a tamaño y forma, afectan la detección del objeto específicamente en su distancia (acercamiento y alejamiento).

⁴ <https://www.ingmecafenix.com/automatizacion/sensores/sensor-inductivo/>

Características de funcionamiento:

Los sensores de proximidad inductivos tienen un funcionamiento que depende del desplazamiento del objeto que se desea censar, ya que, el rango de censado está dado por distancias de operación determinadas, que se definen de la siguiente manera:

- **Distancia de Alcance (S):** Es la distancia en la que el sensor percibe la presencia del objeto.
- **Distancia de Alcance nominal (Sn):** Valor de fábrica de distancia de censado sin tener en cuenta la dispersión por agentes externos.
- **Distancia de Alcance real (Sr):** Valor de medida real de acuerdo a los parámetros de fabricación
- **Distancia de Alcance útil (Su):** son los valores límites de medida de tensión y temperatura ($0.81S_n < S_u < 1.21S_n$)
- **Distancia de Alcance de trabajo (Sa):** Distancia en la cual el sensor trabaja correctamente de acuerdo a lo especificado ($0 < S_a < 0.81S_n$).
- **Histéresis (H):** Distancia en la cual el objeto es detectado y cuando deja de censarlo, es necesaria esta histéresis para evitar retroalimentación en la detección, cuando se presentan vibraciones externas menores al recorrido de detección, se evitan retroalimentaciones.

Clasificación por su tipo de salidas

Existen diferentes tipos de sensores inductivos de proximidad, dependiendo de su tipo de salidas (Fig. 14).

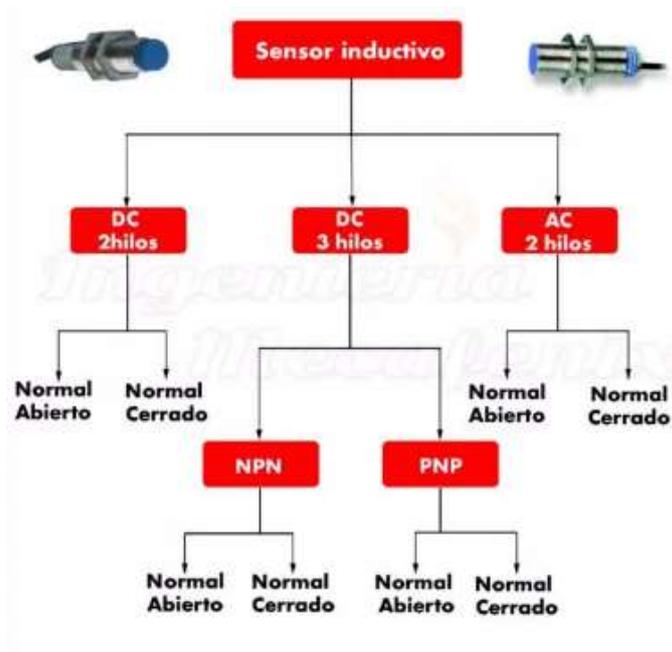


Figura 13. Salidas de sensor Inductivo

Para este proyecto se utilizó un sensor inductivo marca Yue Qing Hengwei Electronics, referencia L J12A3-4-Z/BX, ver anexo 5.

2.2.3. Sensor óptico



Figura 14. Sensor Óptico (fuente propia)

Los sensores ópticos, réflex o fotoeléctricos, tienen la característica de detectar objetos a largas distancias, por el haz de luz que emite y refleja en la superficie de los objetos que se interponen, este tipo de sensores puede detectar metales y casi todos los materiales no metálicos (Fig. 15).

Funcionamiento

Estos sensores (fotoeléctricos), están compuestos por un emisor (Led infrarrojo) que envía un haz de luz (señal infrarroja) y un receptor (Fototransistor) que es el que la recibe el haz de luz emitido (Fig. 16).⁵

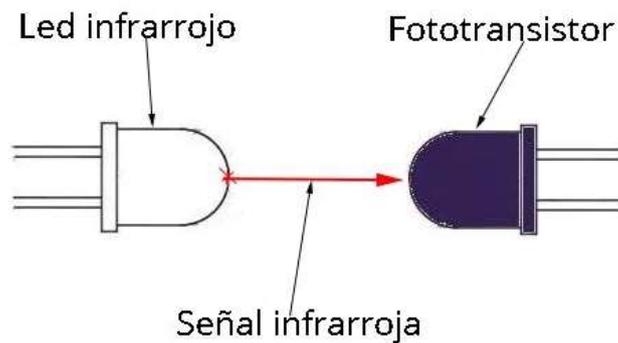


Figura 15. Funcionamiento sensor Óptico

⁵ <https://www.ingmecafenix.com/automatizacion/sensor-optico/>

Partes del sensor

Es un sensor sencillo compuesto por 4 partes principales, como son:

- **Emisor (de luz):** como su nombre lo indica emite el haz de luz.
- **Receptor (de luz):** es la parte del sensor que recibe el haz de luz.
- **Lentes (amplificadores):** son los encargados de aumentar el haz de luz para que su distancia sea mucho mayor.
- **Circuito de salida (electrónica):** Es quien se encarga de enviar la señal de salida, y esta señal puede ser de tipo análoga o digital.

Tipos de sensores:

Existen diferentes tipos de sensores ópticos, su diferencia radica en la manera de detectar los objetos.

- Sensor Óptico de barrera: Se colocan de frente el emisor y el receptor, se activa cuando el haz de luz es bloqueado por un objeto.
- Sensor Óptico Difuso-reflectivo: En este caso el emisor y el receptor están en el mismo lugar, se activa cuando el haz de luz se refleja en el objeto.
- Sensor Óptico de Reconocimiento de brillo: Es similar al difuso, solo que dependiendo de la intensidad de luz reflejada diferencia si es producida por el u otro objeto.
- Sensor Óptico Retro reflectivo o réflex: El emisor y el receptor están ubicados en el mismo cuerpo de sensor, se necesita de una superficie refractiva que haga que retorne el haz de luz y su detección es igual a la del sensor tipo barrera.

Para este proyecto utilizamos un sensor tipo réflex o Retro reflectivo (Fig. 16).

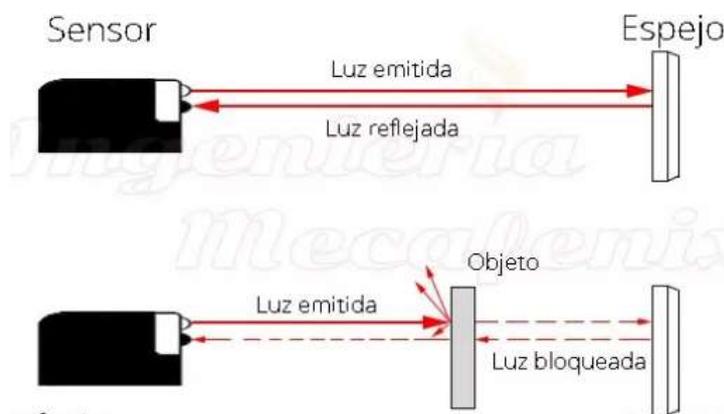


Figura 16. Sensor óptico Réflex

Para este proyecto se utilizó un sensor óptico marca Bonatech, referencia E3F-DS30C4 M18, ver anexo 6.

2.3. Motor paso a paso:

El motor paso a paso es un dispositivo que transforma una señal de pulsos por un movimiento rotatorio (Fig.17).

¿Dónde se utilizan?, generalmente los motores paso a paso son óptimos para sistemas donde la precisión en el movimiento es necesario. Su más importante característica es la de rotar un ángulo preciso por cada pulso que se aplique. Dependiendo de la conexión que se realiza en el motor, el paso de avance puede variar en uno, medio o un cuarto de paso.



Figura 17. Motor pasó a paso

Funcionamiento

Está construido por un rotor que gira libre y un estator de varias bobinas en un núcleo ferromagnético.

Los bobinados están conectados a tensión uno tras otro, esto permite el desplazamiento angular o paso angular, siendo esta su principal característica.

Diferentes tipos de motores paso a paso

Se conocen tres tipos de motores paso a paso:

- Imanes permanentes.
- Reluctancia variable.
- Híbrido.

2.3.1. Imanes permanentes

De imanes permanentes existen dos tipos:

- Motores paso a paso unipolares.
- Motores paso a paso bipolares.

2.3.1.1. Motores paso a paso unipolares

Para sus conexiones, normalmente tienen 5 a 6 cables de salida, de los cuales 4 son los que reciben el pulso, determinan la secuencia y tiempo de duración de los pasos, los demás son los cables de alimentación del motor.

Este número de cables que trae para control del motor, depende de cómo se configuran las conexiones de los bobinados, por estas diferentes configuraciones se puede hacer un montaje dependiendo de lo que se requiera, si se necesita más par motor, se necesita más velocidad o se necesita más o menos resistencia.

Se considera que la velocidad de giro en estos motores, está definida, por lo siguiente:

$$N = 60 * \frac{f}{n} \quad \text{Fórmula 1. Velocidad de rotación}$$

Donde:

- f = La frecuencia de la serie de impulsos
- n = Es el número de polos del motor

Según las pruebas que se han realizado, la frecuencia máxima de los motores unipolares es de 625Hz aproximadamente, sin embargo, si se incrementa la frecuencia el motor puede presentar alguna de las siguientes formas de operar o afectaciones:

- Quedar bloqueado es decir no realizar ningún movimiento.
- Vibrar, pero no girar.
- Girar en sentido opuesto.
- Perder o disminuir su potencia.

2.3.1.2. Bipolares

Estos motores vienen para ser conectados con 4 cables de salida, para el cambio de dirección en el flujo de la corriente que atraviesa las bobinas que es necesario para generar la secuencia del movimiento, se debe hacer una variación en la conexión, puenteando dos de las cuatro bobinas.

2.3.2. Motor paso a paso híbrido

El motor híbrido, se refiere a un motor paso a paso, donde el funcionamiento está basado en combinar dos tipos de motores, como son el de reluctancia variable y el de magnetización permanente.⁶

Para el proyecto se utilizó el motor unipolar por ser más sencillo en su control, ver anexo 7.

2.4. Potenciómetros:

El potenciómetro es una resistencia que se puede variar, que se ajusta de manera manual, cuenta con tres terminales y su uso es en circuitos donde la corriente está por debajo de un amperio (Fig. 19). En muchos circuitos los potenciómetros son los que regulan niveles de salida, como por ejemplo volumen de sonido en un bafle o control de brillo en una pantalla de computador.

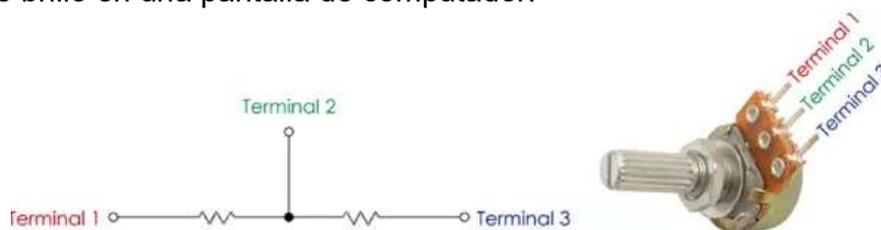


Figura 18. Potenciómetro

Tipos de Potenciómetros:

Una de las clasificaciones de las varias que se conocen es de las siguientes dos maneras, como Potenciómetros de Mando y Potenciómetros de ajuste (Fig. 20).



Figura 19. Tipos de potenciómetro

Potenciómetro de Mando: Sirven para el control de voltaje en aparatos electrónicos para citar un ejemplo el volumen.

⁶ <https://www.ingmecafenix.com/electricidad-industrial/motor-paso-a-paso/>

Potenciómetros Giratorios: Estos usan muy poco espacio, se controlan girando su eje y se caracterizan por ser de gran duración.

Potenciómetros Deslizantes: La forma del recorrido de su cursor es recto. Se utilizan en ecualizadores gráficos.

Potenciómetro de Ajuste: No se tiene acceso al potenciómetro para modificar sus características, existen de tipo encapsulado y abierto, y se utilizan para controlar los niveles de voltaje.

Otra forma de clasificar los potenciómetros es según la variación de la resistencia (Fig. 20):

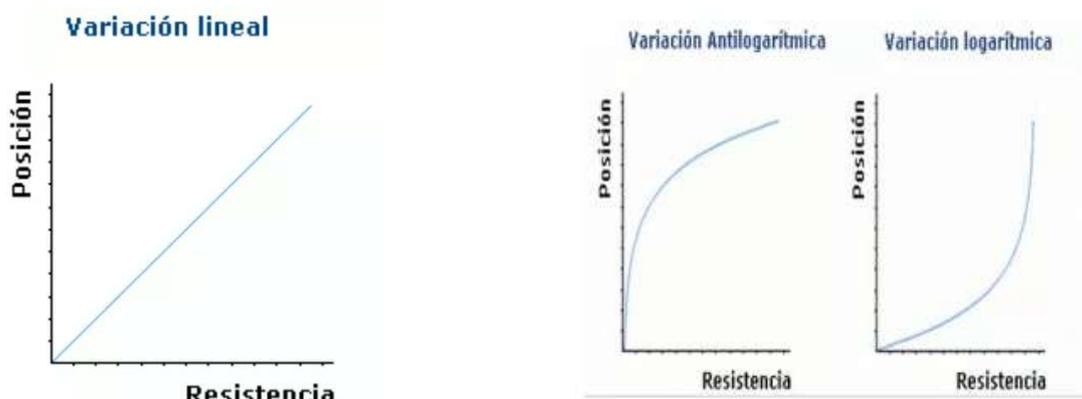


Figura 20. Variación resistencia potenciómetro

Variación Lineal: Dependiendo el ángulo de giro, varía directamente proporcional la resistencia.

Potenciómetros Logarítmicos: La resistencia inicialmente varía muy poco o lentamente, hasta llegar al punto en que la variación de la resistencia es mayor, un ejemplo de uso de estos potenciómetros es en los radios para variar su volumen.

Potenciómetros Senoidales: Aquí el seno del ángulo de giro es proporcional a la resistencia.⁷

En el proyecto se utilizó un potenciómetro: de mando deslizante y variación de resistencia lineal.

2.5. Regulador de voltaje

Es un circuito que independientemente de lo que esté conectado a su salida el voltaje es constante, los hay de diseños diferentes y con aplicaciones diferentes.

⁷ <https://www.ingmecafenix.com/electronica/potenciometro/>

Regulador Lineal

Estos reguladores vienen de 3 terminales, utilizan circuitos analógicos con realimentación ajustando el voltaje de salida teniendo en cuenta la señal de realimentación.

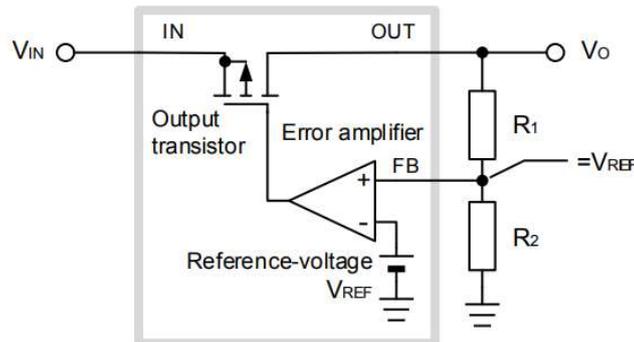


Figura 21. Circuito electrónico de un regulador

El circuito electrónico de un regulador de voltaje, está construido por un transistor de salida y un amplificador de error (Fig. 21). Estos reguladores los podemos encontrar como negativos que no tienen muchas variantes y positivos donde existen los fijos o que mantienen el voltaje de salida en un solo nivel es decir constante y variables donde el nivel de voltaje de salida se puede cambiar.

Reguladores por conmutación

Estos reguladores se comportan mejor que los lineales, es decir, son más eficientes por que los transistores funcionan como un interruptor controlado por corriente, reduciendo así la pérdida de potencia, como disipa menos calor las pérdidas son menores.⁸

⁸ <https://blog.330ohms.com/2019/07/29/que-es-un-regulador-de-voltaje/>

Tabla comparativa de reguladores de tensión

Reguladores por Conmutación	Reguladores Lineales
Más costosos debido a mayor número de elementos y su uso final	Es económico por menor número de elementos
Son más eficientes, manejan potencias altas y ocupan menos espacio	Funcionan en bajas potencias y ocupan poco espacio.
El ruido eléctrico los afecta y trabajan en frecuencias altas.	Trabajan a bajas frecuencias y muy poca afectación por el ruido.
Como tiene mayor número de elementos su diseño es más elaborado.	Diseño sencillo por pocos elementos.

Tabla 1. Comparativo reguladores

Para el proyecto se utilizó el regulador 3A LM2596, ver anexo 8

El regulador de voltaje 3A LM2596 como función principal tiene la de entregar un voltaje de salida constante de menor nivel al de entrada indiferentemente a variaciones que se presenten en la entrada. Máxima corriente de salida 3A, voltaje de entrada de 4.5V a 40V y voltaje de salida de 1.23V a 37V, ajustándolo mediante un potenciómetro multivuelta.

Aplicaciones:

- Fuentes de alimentación
- Para batería vehículo
- En robótica, drones
- Como cargador de celular.⁹

⁹ <https://naylampmechatronics.com/conversores-dc-dc/196-convertidor-voltaje-dc-dc-step-down-3a-lm2596.html>

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo General

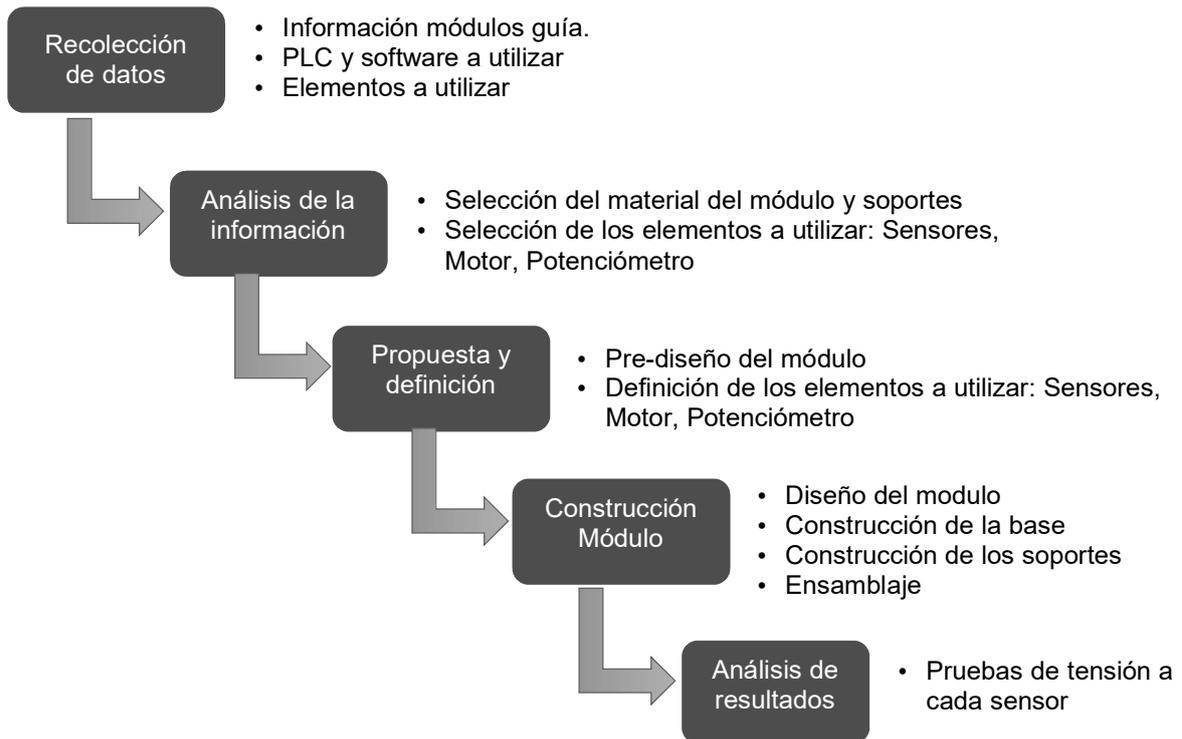
- Diseñar y construir cinco módulos con sensores de proximidad para la adquisición de datos e interacción con los cinco maletines con PLC marca PANASONIC y HMI MT4414TE marca KINCO, para prácticas de laboratorio en la facultad FIMEB de la Universidad Antonio Nariño.

3.2. Objetivos específicos

- Realizar el diseño de cinco módulos con sensores de proximidad (capacitivo, inductivo, óptico) y un motor paso a paso para la adquisición de datos con los maletines PLC.
- Construir cinco módulos didácticos para las prácticas de las asignaturas relacionadas con la programación de PLC, que contengan diferentes clases de sensores (capacitivo, inductivo, óptico, motor paso a paso), con sus respectivas conexiones y derivaciones.
- Diseñar y desarrollar tres guías de prácticas de laboratorio como estrategia didáctica para desarrollar competencias básicas en el proceso de enseñanza.
 - Caracterización de Sensores.
 - Control de Velocidad de un Motor Paso a Paso.
 - Implementación de un Control de proximidad ON-OFF, a través del PLC y de los sensores presentes en el módulo.
- Elaborar manuales de operación, y de seguridad, para prácticas en aula.

4. METODOLOGÍA

Para realizar el diseño y construcción de los módulos de sensores realizaron las siguientes actividades:



4.1. Recolección de datos

Esta parte se inició tomando como referencia un banco de prácticas eléctricas portátil el cual es un proyecto existente en el laboratorio desde el 2017 (fig. 22). Revisando la cantidad y tipos de sensores que tenía y la posibilidad de conectarlo con los maletines de PLC existentes.

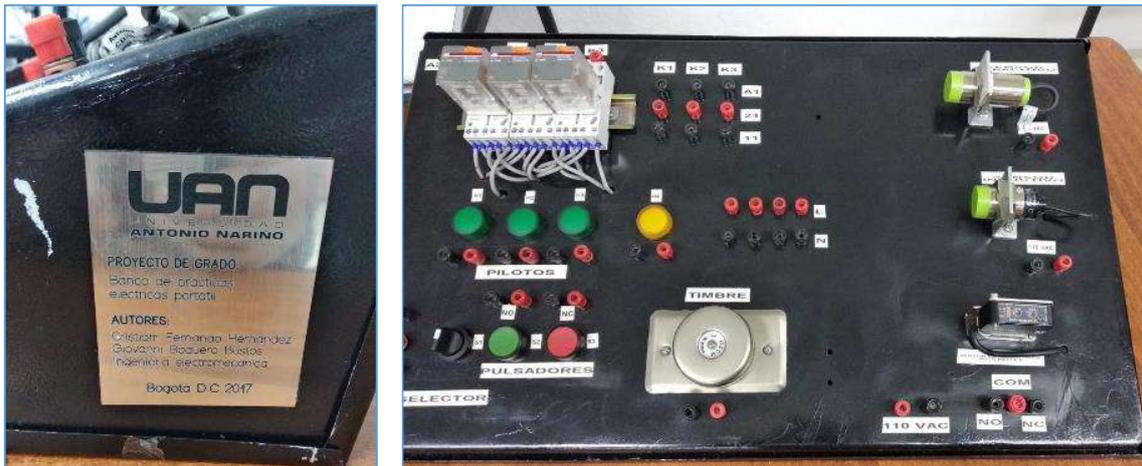


Figura 22. Modulo guía

Para realizar la interfaz entre los maletines PLC y los módulos de sensores, se reconoció el tipo de PLC para el cual se iban a conectar los módulos, identificando características como: tipo de señales que maneja, conexiones, elementos presentes en el maletín con el fin de optimizar los elementos a utilizar en los módulos.

Al utilizar los maletines y el software (PFWIN Pro) que utiliza el PLC, se entendió su funcionamiento, configuración, programación, número de entradas, número y tipo de salidas de salidas (Relé y Transistores), la comunicación con la que cuenta, para este caso específico la USB.

Para realizar los módulos funcionales se buscaron diferentes tipos de sensores, seleccionado la mejor opción en cuanto a tamaño, frecuencia de muestreo, voltaje de operación, corrientes de trabajo, salida, accesibilidad en el mercado, para posteriormente determinar el que mejor se adapta al propósito del proyecto.

Una característica muy importante de los sensores es el rango de censado y para determinarlo se propuso instalar un potenciómetro lineal que estuviese conectado al desplazamiento del sensor para adquirir la información.

También se buscó un motor pasó a paso, compatible con el PLC, que funcionara para las salidas (Relé y/o Transistores), que se pudiera controlar su velocidad de acuerdo a la salida pulsos (para el caso del FPX-0 se pueden controlar hasta 4 motores con una velocidad de 50KHz)¹⁰.

¹⁰ <https://www.youtube.com/watch?v=2POQkwJ65uc>

4.2. Análisis de información

De la información obtenida en el paso anterior se propone el material a utilizar para la construcción del módulo, al igual que las características de los sensores a utilizar, el potenciómetro y por último el motor. Con esto se definió un pre-diseño.

Para definir la ubicación de los elementos en los módulos se tuvo en cuenta las dimensiones físicas del maletín, el tamaño, posición y distribución de los sensores y el motor pasó a paso, borneras de conexión, para dar un criterio del tamaño final de los módulos.

4.2.1. Material de la estructura

Como se indicó anteriormente se tomó como guía un módulo en lámina metálica con pintura, se consideró este tipo de material y se comparó con dos materiales diferentes (madera, lámina acrílica), a continuación, se relaciona una tabla comparativa entre los tres materiales:

	Costo de la estructura	Costo de los Soportes	Costo Total	Calidad en el Acabado	Peso	Facilidad fabricación	Aprobación
Madera	\$185.000	No lo hacen	\$185.000	Alta	Ligero	Baja	No
Lamina con pintura	\$124.300	\$187.400	\$311.700	Media	Pesado	Media	No
Lamina acrílica	\$75.000	\$110.000	\$185.000	Alta	Ligero	Alta	Si

Tabla 2. Comparación de costos del modulo

Con los criterios expuestos en la tabla, la mejor opción en cuanto a costos, calidad en los acabados, facilidad en la fabricación, peso y resistencia del módulo y los soportes, es en lámina acrílica.

4.2.2. Selección de sensores

Para los sensores de proximidad se indican a continuación las ventajas y desventajas de los tres tipos que se utilizaron, así como algunas de las aplicaciones.

Tipo de sensor	Ventajas	Desventajas	Aplicaciones
Inductivo¹¹	<ul style="list-style-type: none"> • La humedad, el polvo suciedad no los afecta. • Al no tener partes móviles no presenta desgaste mecánico. 	<ul style="list-style-type: none"> • Solo detecta objetos metálicos. • Tiene un rango de detección corto. • Puede ser afectado por campos electromagnéticos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Clasificación y detección de piezas metálicas. • Detección de dispositivos de fijación para el control de velocidad.
Capacitivo¹²	<ul style="list-style-type: none"> • Detecta objetos metálicos y no metálicos. • Tienen una larga vida útil. • Tiene muchas formas de montaje. 	<ul style="list-style-type: none"> • Distancias de detección corta. • Son sensibles a la humedad, polvo y suciedad. • Detectan todo tipo de material. 	<ul style="list-style-type: none"> • Detección de nivel. • Detección a través de barreras.
Réflex¹³	<ul style="list-style-type: none"> • Largo alcance de detección. • No se ven afectados por reflejos de segunda superficie. • Detección precisa. 	<ul style="list-style-type: none"> • Son más costos por estar compuesto por emisor y receptor. • No detecta objetos transparentes. • Es importante la alineación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pequeñas diferencias de nivel. • Detección de elementos en una banda transportadora.

Tabla 3. Ventajas, desventajas y aplicaciones de los sensores

¹¹ <https://www.rechner-sensors.com/es/documentacion/knowledge/sensor-inductivo>

¹² https://www.ecured.cu/Sensor_capacitivo

¹³ <http://dominion.com.mx/descargas/sensores-fotoelectricos.pdf>

4.2.3. Selección de potenciómetro

Se escogió un potenciómetro lineal tipo deslizante, siendo este el que más se adapta al requerimiento por el desplazamiento de los sensores inductivos y capacitivos, ya que, la distancia recorrida no es superior a un centímetro.



Figura 23. Potenciómetro deslizante



Figura 24. Potenciómetro deslizante de 50K

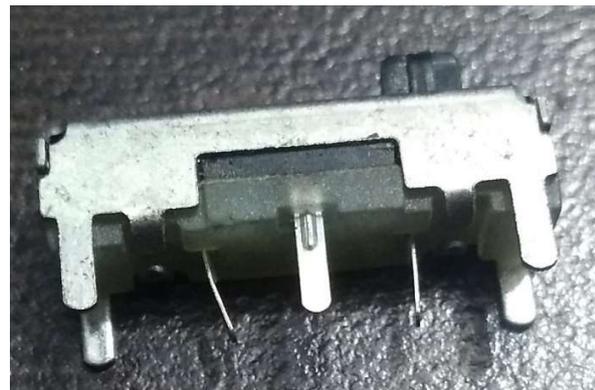


Figura 25. Potenciómetro deslizante de 1K

Inicialmente fue seleccionado un potenciómetro de 50K, con medidas de Largo 30mm x 8mm de ancho y un recorrido de 20mm; se desistió de este por que no fue posible la consecución de la totalidad de potenciómetros que se requieren para el proyecto, por esto nos vimos abocados a seleccionar lo que encontramos en el mercado y que son comerciales, potenciómetro de 1K, con medidas de 18mm de largo x 5mm de ancho y un recorrido de 12mm y que se ajusta al recorrido de la zona de detección del sensor.

Cálculos para determinar el potenciómetro:

- Voltaje de salida del PLC 24VDC
- Se debe entrar al PLC con una señal analógica de 0 ~ 10VDC
- $V_{out} = 10VDC$
- $V_{in} = 24VDC$
- $R_1 = ?$
- $R_2 = 50K\Omega$ (inicialmente).
- $R_2 = 1K\Omega$

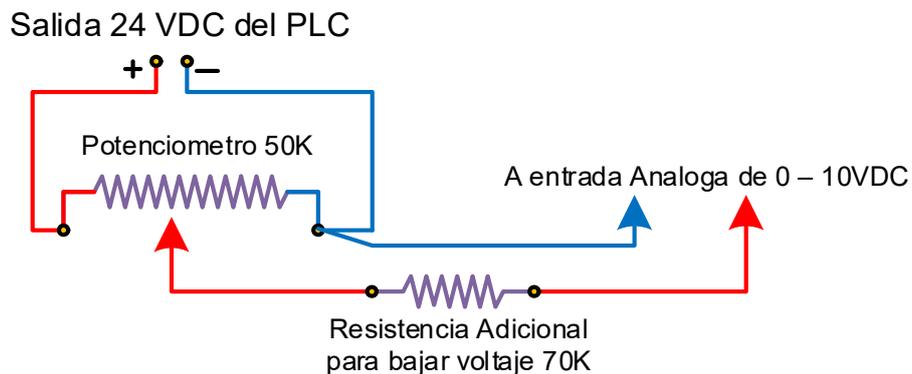


Figura 26. Conexión de divisor de tensión

$$I_t = \frac{V}{R_t}; V_1 = R_1 * I_t; V_2 = R_2 * I_t; R_t = R_1 + R_2 \quad (\text{Formula 2. Ley de OHM})$$

$$V_{out} = V_{in} \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (\text{Formula 3. Divisor de tensión})$$

$$V_{out} (R_1) = R_1 = \frac{V_{in}(R_2) - V_{out}(R_2)}{V_{out}} = 70000\Omega = \mathbf{70K\Omega}$$

Este resultado indica el valor de la resistencia para conectar en serie con el potenciómetro y obtener 10VDC máximo es de 70KΩ.

Como se cambió el potenciómetro y ahora es de 1KΩ entonces el valor de la resistencia cambia

$$R_1 = \frac{V_{in}(R_2) - V_{out}(R_2)}{V_{out}} = 1400\Omega = \mathbf{1,4K\Omega}$$

Se presentó otro cambio en el diseño para la regulación del voltaje analógico de 0 ~ 10VDC, el potenciómetro con una resistencia en serie de 1,4KΩ, para tener una caída de tensión de 14 V, este funciona y es fija esa regulación, pero por desarrollo de tecnología y sobre todo por garantizar una salida estable de voltaje hacia la entrada analógica y que de alguna manera se pueda observar que nivel de tensión

se tiene a la salida, se decidió montar un regulador de voltaje DC – DC, con Display para poder observar el Tensión de salida, esto lo hace el circuito que se instaló con el regulador LM2596.

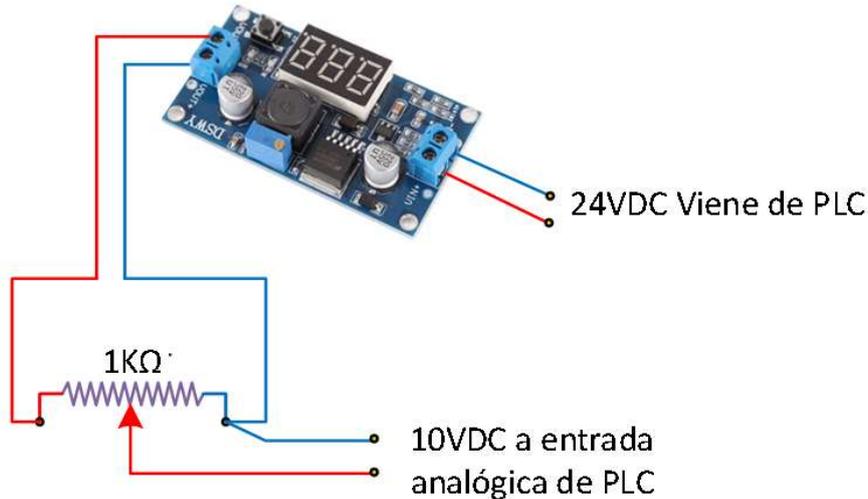


Figura 27. Circuito de regulación de voltaje DC – DC

4.2.4. Selección motor paso a paso

En la selección del motor se tuvo en cuenta características tales como:

- Son motores con movimientos muy precisos y buena repetitividad.
- Cada vez que se aplique un pulso se mueve un paso.
- Dependiendo de la conexión se pueden realizar movimientos desde 0.9° hasta 90°.
- No son muy costosos
- Torque del motor.
- Tensión de alimentación del motor.
- Numero de pasos por vuelta.
- Corriente nominal.
- Tipo de conexión.
- Compatibilidad con los maletines de la universidad.
- Facilidad de montaje.
- Facilidad de instalación de la carga.

El tipo de motor que se adquirió es un Motor Unipolar, y por su construcción, Motor Paso a Paso Híbrido, con seis cables de conexión, 2 fases, donde se puede conectar como motor de cinco cables, o conexión como motor de seis cables.

● 2-phase 6-lead wire type

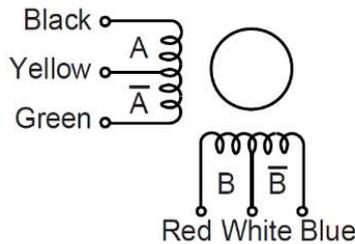


Figura 28. Diagrama del motor paso a paso

El motor de acuerdo a la placa de características se desplaza 0.9° por pulso. Entonces se necesitan 400 pulsos para que dé una vuelta completa o 360°

$$\text{Cant. pulsos por vuelta} = \frac{360^\circ}{\text{Angulo de paso del motor}} \quad (\text{Fórmula 4. Cantidad de pulsos por vuelta})$$

$$\text{Cant. pulsos por vuelta} = \frac{360^\circ}{0.9^\circ} = 400 \text{ Pulsos}$$

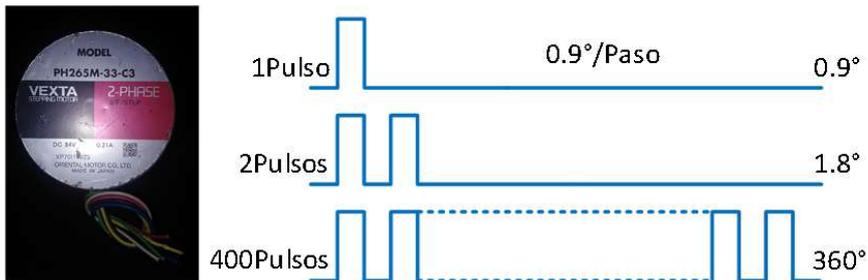


Figura 29. Diagrama de pulsos del motor

4.2.4.1. Precisión y resolución:

Para este diseño se seleccionó un motor paso a paso con un ángulo de avance de 0.9° en paso completo. Es posible realizar conexiones para un avance de medio y un cuarto de paso variando la corriente de alimentación, consiguiendo así una posición más puntual con la máxima resolución.

La resolución para el posicionamiento está dado por el ángulo de paso del motor y la constante de avance del eje. Esta resolución puede calcularse con la siguiente ecuación:

$$\text{Resolución} = \frac{\text{Constante de avance del eje/relacion de transmision}}{\text{Pulsos por vuelta}} \quad (\text{Formula 5. Resolución avance motor})$$

Constante de avance del eje, para este proyecto el porta probeta está montado directamente en el eje, entonces tomamos el perímetro de la circunferencia, perímetro de la circunferencia $L = 2\pi r = 2 * 3,1416 * 50\text{mm} = 314,16\text{mm}$

- Relación de transmisión no tenemos entonces se toma = 1
- Pulsos por vuelta = 400
- Resolución = $\frac{314,16\text{mm}/1}{400} = 0,78\text{mm}$

4.2.4.2. Potencia eléctrica:

La Potencia Eléctrica depende de la corriente eléctrica (I) y del voltaje (V), se calcula con:

$$W = V * I = 24V * 0.21A = 5.04W \quad (\text{Formula 6. Calculo potencia})$$

4.2.4.3. Calculo del número de pulsos que debe generar el PLC para una posición determinada:

Para calcular este número total de pulsos para llegar a una posición deseada es expresado por la siguiente formula:

$$P_{total} = \frac{D_{Total}}{d_{carga}} \cdot \theta_{paso} \quad (\text{Formula 7. Pulsos posición determinada})$$

Donde

- D total = Es la distancia total del movimiento
- d carga = Es la distancia de rotatoria del eje de motor para el movimiento de la carga
- θ paso = El ángulo de rotación del eje (pasos/rev motor)
- i = Corriente nominal (rev motor/ rev eje reductor)

Se unió el disco porta probeta, directamente al eje del motor, el motor necesita 400 pulsos para dar una vuelta. Por ejemplo: para 7,5 vueltas se requiere:

$$P_{total} = \frac{7,5 \text{ vueltas}}{1 \text{ rev disco} / 1 \text{ rev eje}} * 400 \frac{\text{Pasos}}{\text{rev motor}} = 3000 \text{ Pulsos}$$

4.2.4.4. Frecuencia de pulsos para obtener el tiempo de movimiento:

Perfil, arrancar – parar:

Este tipo de perfil solo funciona para bajas velocidades, ya que no existen rampas de aceleración ni desaceleración. Se mantiene la velocidad constante el tiempo de duración del movimiento.

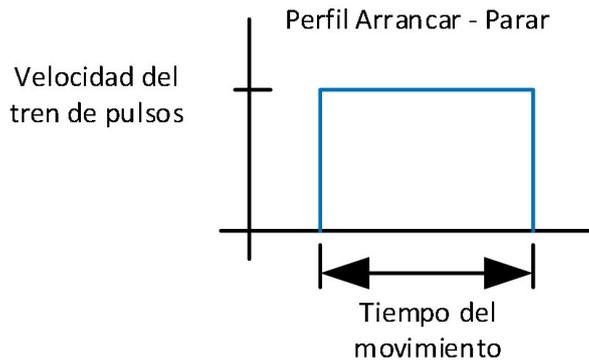


Figura 30. Pulso par – arranque

La fórmula para encontrar la velocidad del tren de pulsos para el movimiento “arrancar – parar” es:

$$F_{ss} = \frac{P_{total}}{t_{total}} \quad (\text{Formula 8. Arrancar – parar})$$

Donde

- F_{ss} = velocidad de la serie de pulsos
- P_{total} = Total de pulsos
- t_{total} = tiempo total del movimiento

Ejemplo:

Calcular la velocidad de la serie de pulsos, para hacer el movimiento “arrancar – parar” con 3000 pulsos en un tiempo de 800ms

Solución:

$$F_{ss} = \frac{3000 \text{ pulsos}}{0,8 \text{ seg}} = 3750 \text{ Hz}$$

Perfil, Trapezoidal:

Este perfil funciona para velocidades altas ya que tiene rampa de aceleración y rampa de desaceleración, ideal para trabajar con carga. Se ajusta el tiempo de arranque y parada, el tiempo de funcionamiento la velocidad es constante.

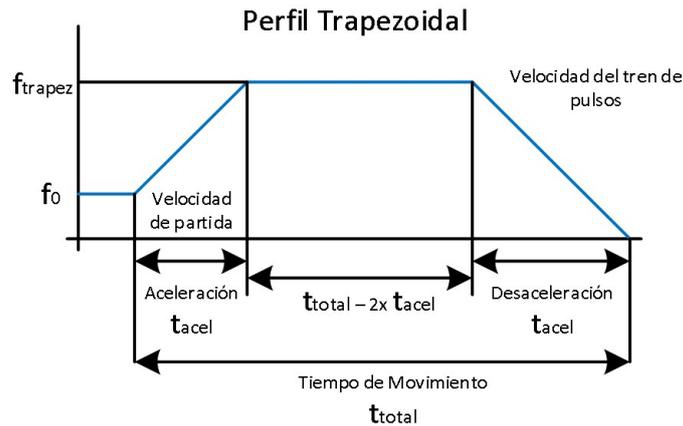


Figura 31. Perfil trapezoidal

Cuando la aceleración y desaceleración son iguales en tiempo, se calcula la velocidad máxima del número de pulsos de la siguiente forma:

$$f_{\text{trapezoidal}} = \frac{P_{\text{total}} - (f_0 * t_{\text{aceleracion}})}{(t_{\text{total}} - t_{\text{aceleracion}})} \quad (\text{Formula 9. Perfil trapezoidal})$$

Donde:

- f_0 = Velocidad de inicio
- $t_{\text{aceleración}}$ = tiempo de aceleración o desaceleración

Para definir los pulsos a lo largo de la señal:

Pulsos durante

La aceleración

El movimiento constante

La desaceleración

Ecuación

$$P_{\text{acel}} = (f_{\text{trapez}} - f_0) * t_{\text{acel}}$$

$$P_{\text{cte}} = (f_{\text{trapez}}) * (t_{\text{total}} - t_{\text{acel}})$$

$$P_{\text{desacel}} = (f_{\text{trapez}} - 0) * t_{\text{acel}}$$

Esta fórmula solo es válida para cuando los tiempos de aceleración y desaceleración son iguales.

Ejemplo:

Hallar la velocidad del número de pulsos que se requiere para realizar un movimiento trapezoidal en 900ms, el tiempo de aceleración y desaceleración de 200ms cada uno, 10.000 pulsos totales y una velocidad inicial de 50Hz

$$F \text{ trapezoidal} = \frac{10.000 \text{ pulsos} - \left(50 \frac{\text{pulsos}}{\text{seg}} * 0,2 \text{ Seg}\right)}{(0,9 \text{ seg} - ,2 \text{ seg})} = 14.271,43 \text{ Hz}$$

4.2.4.5. Torque del motor:

Se utilizan las siguientes formulas, con la información suministrada por el fabricante, los demás datos son lo que se miden directamente de los elementos que intervienen en el movimiento:

- Diámetro del Disco porta probeta = 100mm = 0.1m
- Espesor del Disco = 3mm = 0.003m
- Material del Disco = acrílico
- Número de probetas = 6
- Resolución deseada = 0,05°
- Ángulo de rotación = 45°
- Tiempo de rotación = 0,7 seg
- Tiempo de aceler/desaceler: 0,15 seg
- Torque de resistencia del movimiento del eje: 0,5 [N-m]
- Densidad del acrílico = 1180Kg/m³
- Densidad del aluminio = 2700Kg/m³
- Densidad del cobre = 8960Kg/m³
- Densidad del bronce = 8890Kg/m³
- Densidad del acero inoxidable = 7850Kg/m³
- Densidad del hierro = 7850Kg/m³

Para mover el motor un numero de grados determinado se utiliza la fórmula:

$$P \text{ total} = \frac{D \text{ Total}}{d \text{ carga}/_i} * \Theta \text{ paso}$$

Por ejemplo, para encontrar:

Pulsos totales del movimiento de 45°:

$$P \text{ total} = \frac{45^\circ}{360^\circ/1} * 400 = 50 \text{ pulsos}$$

Frecuencia máxima:

$$F \text{ trapezoidal} = \frac{50 \text{ pulsos} - \left(0 \frac{\text{pulsos}}{\text{seg}} * 0,15 \text{ Seg}\right)}{(0,7 \text{ seg} - ,15 \text{ seg})} = 90,9 \text{ Hz}$$

La frecuencia trapezoidal expresada en rpm

$$F \text{ trapezoidal} = \frac{90,9 \text{ Hz} * \left(\frac{60 \text{ seg}}{1 \text{ min}}\right)}{400 \text{ pulsos/rev}} = 14 \text{ rpm}$$

Momento de inercia del motor

$$J \text{ total} = J \text{ motor} + J \text{ reductor} + \frac{J \text{ disco}}{i^2} \quad (\text{Formula 10. Inercia})$$

Peso total de la carga del sistema, disco porta probetas más las probetas:

El peso es igual a = el volumen por la densidad.

El volumen se calcula como:

Para disco en acrílico D = 100mm:

$$\text{Volumen [m}^3\text{]} = \pi * r^2[\text{m}] * L[\text{m}] \quad (\text{Fórmula 11. Volumen})$$

$$\text{Vol} = 3,1416 * (0,05\text{m})^2 * 0,003\text{m} = 0,000023562\text{m}^3$$

$$\text{Entonces el peso es: } 0,000023562\text{m}^3 * 1180\text{kg/m}^3 = 0,0278\text{Kg}$$

Material Probeta	Densidad (kg/m ³)	Peso (kg)
Acero (3)	7850	0,0067141097
Broce	8890	0,007600957
Cobre	8960	0,0076608
Aluminio	2700	0,0023085
Peso Total		0,03771259

Tabla 4. Peso de probetas

$$\begin{aligned} \text{Entonces peso total} &= \text{Peso del disco} + \text{Peso total de las probetas} \\ &= (0,0278\text{Kg}) + (0,03771259\text{kg}) = \mathbf{0,065512584\text{Kg}} \end{aligned}$$

Para determinar el momento de inercia se utiliza la fórmula 12.

$$J = \pi * L * \rho * r^4 \div 2$$

Fórmula 12. Momento inercia Probetas

Material Probeta	Densidad (kg/m ³)	J (kg/m ²)
Acero (3)	7850	3,04653E-07
Broce	8890	1,15005E-07
Cobre	8960	1,15910E-07
Aluminio	2700	6,98567E-08
Inercia Total		6,0542E-07

Tabla 5. Inercia de las probetas

$$J \text{acrílico} = \pi * L * \rho * r^4 \div 2$$

$$J \text{acrílico} = \frac{3,1416 * 3 \times 10^{-3} \text{m} * 1180 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0,05 \text{m}^4}{2} = 3,475 * 10^{-5} \text{kg/m}^2$$

Inercia total (disco giratorio reflejada en el eje del motor):

$$J \text{ total} = \frac{J \text{ disco}}{i^2} + J \text{ reductor}$$

$$J \text{ total} = \frac{3,475 * 10^{-5} \text{kg/m}^2}{1^2} + 0 = 3,475 * 10^{-5} \text{kg/m}^2$$

Torque para la aceleración:

$$T \text{ acel (N-m)} = J \text{ total} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right) * \frac{\Delta \text{Vel (RPM)}}{\Delta \text{Tiempo (seg)}} * \frac{2\pi}{60} \quad (\text{Formula 13. Torque aceleración})$$

$$T \text{ acel} = 3,475 * 10^{-5} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right) * \frac{4 \text{ (RPM)}}{0,15 \text{ (seg)}} * \frac{2\pi}{60} = 9,705 * 10^{-5} \text{N-m}$$

El Torque para mover el disco:

$$T \text{ motor} = T \text{ acel} + T \text{ resist} \quad (\text{Formula 14. Torque motor})$$

$$T \text{ motor} = 9,705 * 10^{-5} \text{ N-m} + 0,5 \text{N-m} = 0,5 \text{ N-m}^{14}$$

¹⁴ Datos tomados del manual del sistema SURE STEP

Velocidad del motor conectado en la salida de RELÉ:

Esta velocidad del motor, está dada, por las características del motor, necesita 400 pulsos para dar una vuelta, y naturalmente las características de los relés, donde su frecuencia de conmutación es de 180 operaciones por minuto.

Característica	Descripción	
Tipo de salida	1 contacto normalmente abierto	
Capacidad de control	2A 250V AC, 2A 30V DC ($\leq 4,5A$ /común)	
Salidas por común	C10: 2+1+1 C14: 4+1+1	
Tiempo de respuesta	FALSE → TRUE	≈10ms
	TRUE → FALSE	≈8ms
Tiempo de vida mecánica	≥20 000 000 operaciones (frecuencia de conmutación: 180 operaciones/min.)	
Tiempo de vida eléctrica	≥100 000 operaciones (frecuencia de conmutación a su capacidad de control: 20 operaciones/min.)	
Protección ante transito-	-	

Tabla 6. Ficha técnica salida por RELE

Lo que quiere decir que se puede tener 3 pulsos por segundo y por relé, y para poder tener una vuelta se necesitan 2.22 minutos.

Velocidad del motor conectado en la salida por TRANSISTOR:

Esta velocidad del motor, está dada, por las características del motor, necesita 400 pulsos para dar una vuelta, y naturalmente las características de las salidas a transistor, donde el tiempo de respuesta de este PLC es $\leq 1ms$.

Característica	Descripción	
	NPN	PNP
Método de aislamiento	Optoacoplador	
Tipo de salida	Colector abierto	
Tensión nominal de carga	5V DC-24V DC	24V DC
Rango de la tensión de carga	4,75-26,4V DC	21,6-26,4V DC
Máx. corriente de carga	0,3A/punto (máx. 1A/común) (0,1A para el FP0) ¹⁾	
Máx. corriente de afluencia	0,3A	
Salidas por común	E16T/E8Y: 8 E32/E16Y: 16	
Corriente de fuga en OFF	≤100μA	
Caída de tensión en estado de ON	≤1,5V	
Tiempo de respuesta	FALSE → TRUE	≤1ms
	TRUE → FALSE	≤1ms
Fuente de alimentación para control del circuito interno (V)	Tensión	21,6-26,4V DC
	Corriente	3mA/puntos

Tabla 7. Ficha técnica salida con TRANSISTOR

Es decir, si tomamos 1ms, se pueden tener 1000 pulsos por segundo y por transistor, lo que quiere decir que se puede llegar a tener 2.5 vueltas por segundo.

4.3. Propuesta y definición

Una vez se definieron los elementos a utilizar se realizó un pre-diseño para precisar ubicación y tamaño del módulo, colocaron los elementos junto con sus respectivos soportes en una lámina de corcho, dando por resultado (Fig. 24) la base del módulo.

4.3.1. Pre-diseño del Módulo

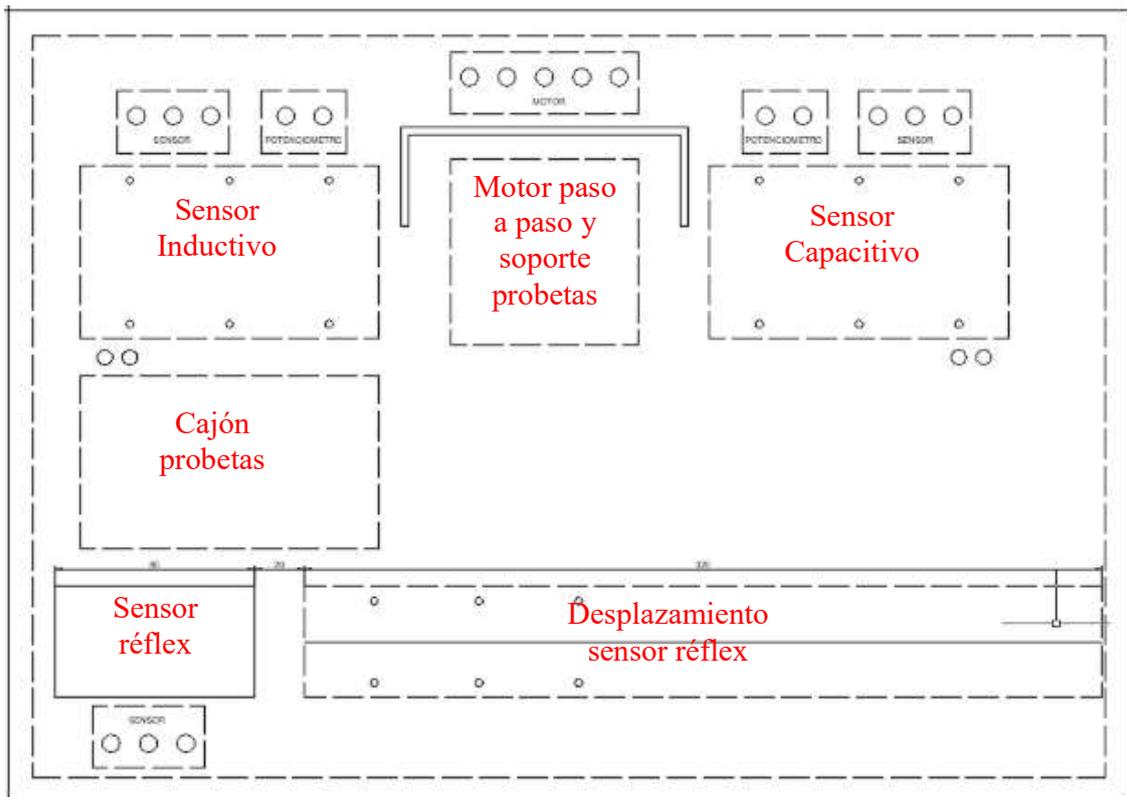


Figura 32. Pre-diseño del módulo

Para los soportes de los sensores, se realizaron varios modelos, hasta encontrar el que mejor se ajustara, como se indicara más adelante.

4.3.2. Características técnicas de los sensores

Característica	Inductivo	Capacitivo	Réflex
Marca	Yue Qing Hengwei Electronics	Yue Qing Hengwei Electronics	Bonatech
Modelo	L J12A3-4-Z/BX	L JC18A3-B-Z/BY	E3F-DS30C4 M18
Función de salida	N O	N O	N A
Tipo de sensor	PNP	PNP	NPN
Voltaje de Operación	6 – 36 VDC	6 – 36 VDC	6 – 36 VDC
Consumo corriente	300 mA	20 mA	300 mA
Rango de detección	04 mm ± 10%	10 mm ± 10%	10 – 30 cm
Material detección	Hierro / aleación acero	Hierro 50X50X1 mm	
Frecuencia de respuesta	100 Hz	0.5 Hz	300 Hz
Numero de hilos	Tres hilos (VCC, GND, Salida)	Tres hilos (VCC, GND, Salida)	Tres hilos (VCC, GND, Salida)
Diámetro	12 mm	18 mm	24 mm
Longitud	64 mm	70 mm	68 mm

Tabla 8. Características técnicas de los sensores.

Frecuencia de conmutación (Hz): La cantidad máxima de cambio de estado en el sensor a causa del acercamiento y alejamiento del objeto.

Tiempo de Respuesta: Tiempo que el sensor se demora en entregar una señal a la salida, cuando fue alterada su entrada.

Velocidad de conmutación: Es el tiempo dado por la respuesta de trabajo de los contactos generalmente entre 1 a 10 ms.

Los sensores que se van a implementar en los módulos, tabla 8, cumplen los requisitos de distancia de censado, tamaño físico, voltaje de alimentación, corriente y frecuencia, además de ser los más comerciales y económicos.

Una vez se adquirieron los elementos se realizaron pruebas (para los sensores y para el motor) con los maletines que había en el laboratorio, verificando la compatibilidad de los sensores, motor y potenciómetro con el PLC.

4.4. Construcción Del Modulo

Para la construcción del módulo como se indicó anteriormente, se realizó un pre diseño y para los soportes se realizaron modelos que se fueron adaptando al mejor concepto general, construyendo una a una las partes de modulo, se inició con los soportes de los sensores, seguido del motor, después probetas y por último esto dio el tamaño de la base del módulo completo. Anexo 9.

4.4.1. Soportes de sensores

Para el soporte de los sensores inductivo y capacitivo se construyó un prototipo en forma de "U" con los cables para la conexión en la parte posterior (fig. 33), sin embargo, al ser sensores de detección milimétrica y ser necesario medir dicha distancia de desplazamiento se cambió la conexión y se ubicó a un lado en la base del módulo, se incluyó un potenciómetro lateral y en la parte posterior un tornillo de rosca milimétrica para el acercamiento y alejamiento del sensor con respecto a la probeta. (fig. 34).

Con el primer diseño se encontró riesgo en los vértices a 90°, pueden ocasionar accidente por lo cual fue necesario limar las esquinas para hacerlo más seguro.



Figura 33. Prototipo de soporte de sensor inductivo/capacitivo inicial (fuente propia)



Figura 34. soporte de sensor inductivo/capacitivo definitivo (fuente propia)

4.4.2. Soportes de probetas

Inicialmente se consideró instalar una rueda en la que se colocan las probetas cada 60°, de forma rectangular y atornilladas a este soporte (fig. 35), sin embargo, por el tamaño y velocidad a la que puede llegar a girar el porta-probetas, esa forma presenta riesgo y puede ocasionar cortes en las manos, por lo cual se decidió cambiar la forma de la probeta y hacerla cilíndrica, sin modificar la base.



Figura 35. Porta-probetas primer diseño

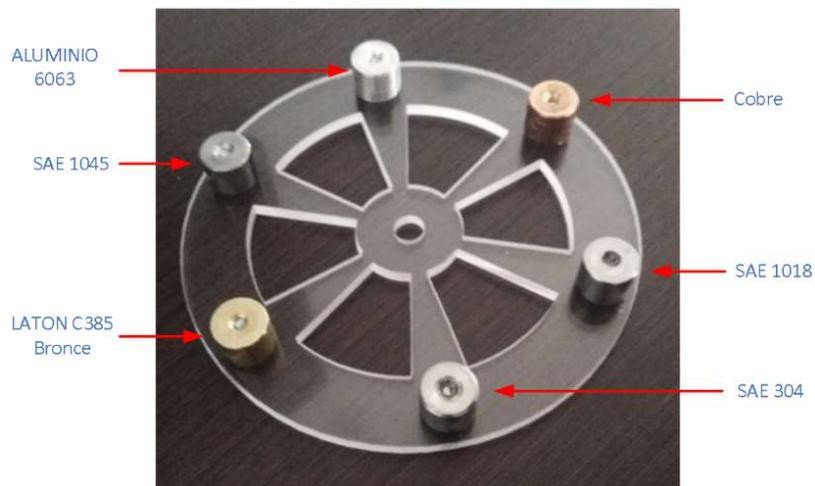


Figura 36. Porta-probetas diseño final y probetas diferente material



Figura 37. Porta-probetas con un solo material SAE 1018

Cada módulo, cuenta con dos portas probetas, una con materiales diferentes, se utiliza Cobre, Acero 1018, Acero inoxidable 304, Bronce C385, Acero 1045 y Aluminio 6063, todas en material redondo de 11,1mm de diámetro x 9mm de largo, estas van aseguradas con un tornillo de tres milímetros de diámetro, para realizar pruebas con los sensores de alcance y censado, El otro disco, queda con probetas de un solo material SAE 1018, para realizar pruebas de frecuencia a los sensores.

Para el sensor réflex, el porta-probeta se diseñó de tal manera que este se desplace longitudinalmente sobre una reglilla, de tal manera que se pueda acercar y retirar del alcance del sensor, se tuvo en cuenta en el diseño, una pequeña cavidad para insertar la probeta, el diseño preliminar (Fig. 28) fue modificado en vista que el área donde se ubica la probeta (los laterales) quedaron muy delgados, muy débiles y no lograban soportar la probeta, por lo cual se decidió aumentar su tamaño (Fig. 29).



Figura 38. Porta- probeta réflex (inicial)



Figura 39. Porta- probeta réflex (definitivo)



Figura 40. Probeta diferente material sensor óptico

Cada módulo cuenta con probetas rectangulares de diferente material para realizar pruebas de alcance y censado con el sensor óptico

4.4.3. Soporte del motor

El diseño del soporte del motor se realizó de acuerdo a la base del mismo, sin embargo, al momento de ubicar el motor en él, las perforaciones quedaron muy separadas, ya que se realizó en una sola pieza y posteriormente se realizaron unos dobleces (Fig. 30)

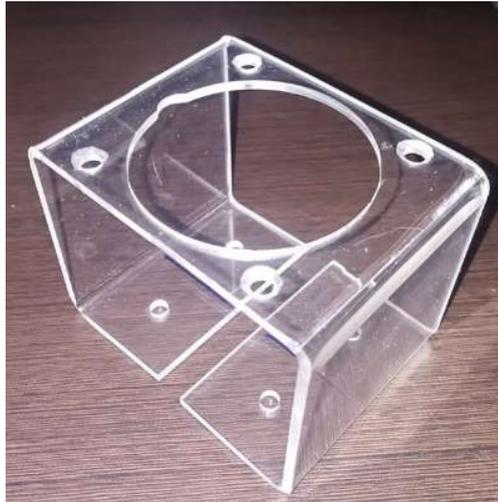


Figura 41. Soporte motor (inicial)

De acuerdo a lo anterior se modificó el soporte y en el corte laser de la pieza no se incluyó las perforaciones que aseguran el motor, esta vez se realizaron manualmente porque al realizar el doblado (también es manual), el acrílico cambia un poco su distancia, (Fig. 31), evitando así desviaciones y desajustes.



Figura 42. Soporte motor (definitivo)

4.4.4. Estructura del módulo

Con el pre diseño, la construcción de cada uno de los soportes y su ubicación, se realizó una estructura en lámina acrílica de mayor calibre (5mm), tal que, soporte el peso de los componentes; La base está en color negro e incluye una pequeña caja para guardar las probetas, La tapa superior que es transparente (Fig. 43), en la foto se observa con un papel protector de color similar a la madera.

En la superficie se marcaron las ubicaciones de los elementos, se realizaron las perforaciones para los cableados, al igual que para asegurar los soportes, de tal manera que sean removibles por cualquier eventualidad (deterioro, rotura, etc.).



Figura 43. Estructura modulo

4.4.5. Montaje en el banco

Una vez se realizaron los soportes de los de los elementos, la estructura del módulo, se adquirieron los sensores, motor, potenciómetros y porta probetas se procedió al ensamble, se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones, basados en los prototipos y ajustes realizados:

- Que los soportes estuvieran sujetos a la superficie con tonillos para su fácil remoción por cambio y/o mantenimiento.
- La lamina de los soportes de los sensores y porta-probetas, fueran en un calibre de 3mm, ya que, ese calibre permite realizar mejor los dobleces necesarios.
- Hacer transparente la superficie para poder ver el cableado identificando cualquier anomalía.
- Realizar una caja en fibra de vidrio para el fácil y seguro transporte.

4.4.6. Material de modulo

El módulo está construido en lámina acrílica, se tomó la decisión por el costo, facilidad en la construcción y presentación, ya que es liviano y resistente, así como el módulo los soportes se realizaron en este mismo material conociendo las dimensiones de los sensores, se realizaron prototipos hasta lograr el modelo que mejor se adaptó a las necesidades.

4.5. Análisis de resultados

Los módulos de sensores se encuentran completamente finalizados y funcionales, se realizaron pruebas de medición de tensión en la salida de los sensores, verificando su correcto funcionamiento.

Se conectó una fuente de 24V a cada uno de los sensores como se muestra en la Fig. 45 – 46 por separado y se tabularon los resultados de cuando se acercó a cada una de las probetas midiendo su distancia con un calibrador para el sensor inductivo y capacitivo, identificando el rango en el que el sensor trabaja (Tabla. 8 – 9).

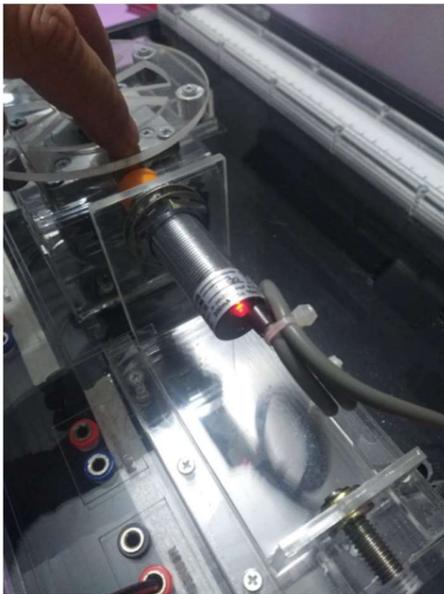


Figura 44. Distancia cercana de sensor a probetas

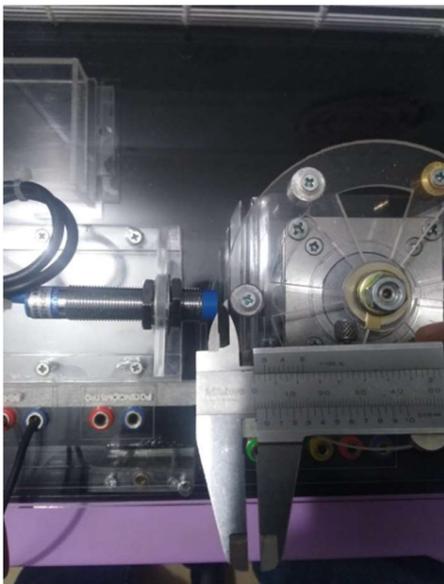


Figura 45. Distancia más lejana de detección sensores

SENSOR INDUCTIVO

# Ensayo	Tensión de alimentación (V)	Distancia Cerca (mm)	Distancia Lejos (mm)
1	24	1,05	4,10
2	24	1,00	3,95
3	24	1,10	4,10
4	24	0,95	4,15
5	24	0,90	4,00
6	24	1,00	3,90
7	24	1,05	3,95
8	24	1,05	4,10
9	24	1,10	4,05
10	24	0,95	3,95
Promedio		1,015	4,03

Tabla 9. Distancia de detección sensor inductivo

SENSOR CAPACITIVO

# Ensayo	Tensión de alimentación (V)	Distancia Cerca (mm)	Distancia Lejos (mm)
1	24	1,00	9,90
2	24	0,95	10,15
3	24	1,05	9,95
4	24	1,05	10,00
5	24	1,10	10,10
6	24	0,95	9,90
7	24	1,10	10,10
8	24	0,90	9,95
9	24	1,05	10,10
10	24	0,95	9,95
Promedio		1,01	10,01

Tabla 10. Distancia de detección sensor capacitivo

Para el sensor réflex, se conectó a la fuente a 24V y como el rango de este es mayor, por medio de la escala del banco se identificó el rango de medida, repitiendo este proceso cinco (5) veces (tabla. 10).

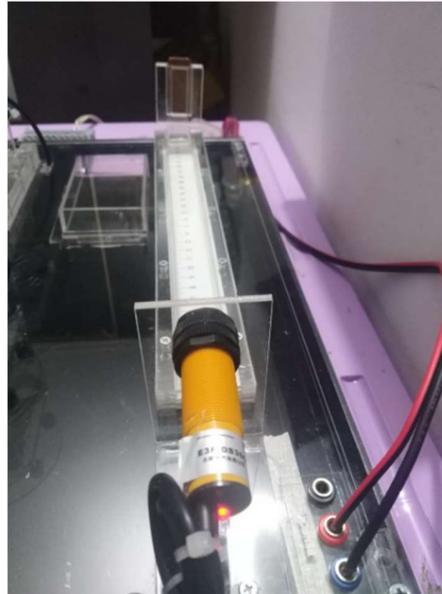


Figura 46. Distancia de detección sensor réflex

SENSOR RÉFLEX

# Ensayo	Tensión de alimentación (V)	Distancia Cerca (cm)	Distancia Lejos (cm)
1	24	9,90	29,50
2	24	10,15	30,00
3	24	9,95	29,80
4	24	10,00	29,70
5	24	9,95	30,00
Promedio		10,00	29,80

Tabla 11. Distancia de detección sensor Réflex

Para el motor paso a paso se conectaron las bobinas (Fig. 48) el punto común se conectó al positivo de la fuente, con el negativo de la fuente se realizó la secuencia de giro para el motor, verificando su funcionamiento a través de los pulsos que se observan, como el giro por pulso es de $0,9^\circ$, solo se tomaron registros cada 40 pulso (tabla. 11).

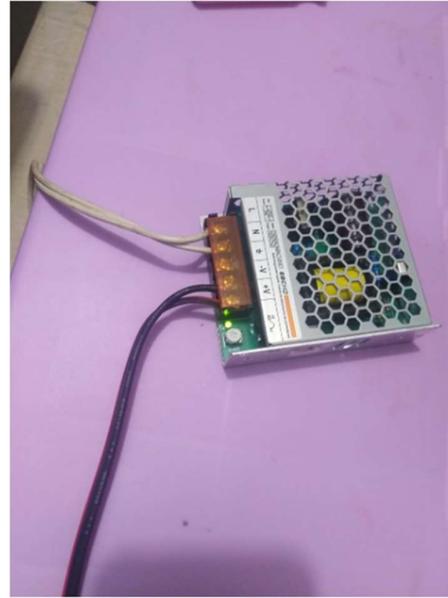


Figura 47. Conexión del motor a Fuente

# Pulso	Tensión de alimentación (V)	Movimiento de giro (°)
0	24	0
40	24	35
80	24	70
120	24	110
160	24	145
200	24	180
240	24	215
280	24	250
320	24	290
360	24	325
400	24	360

Tabla 12. Movimiento de giro de eje del motor

5. Costos del proyecto

DETALLE DE PRESUPUESTO DE PERSONAL							
Nombre	Función en el proyecto	Dedicación (horas/semana)	Semanas	Recursos			TOTAL
				Fuente 1			
				Tipo Recurso	Total Horas	Costo hora	
Rocio Guzman	Autor	5	32	Propio	160	\$8.000	\$1.280.000
Daniel Sanchez	Autor	5	32	Propio	160	\$8.000	\$1.280.000
Hugo Alba	Director Proyecto	1	32	U. A. N.	32	\$35.000	\$1.120.000
TOTAL							\$ 3.680.000

Tabla 13. Tabla de costos mano de obra

DETALLE DE GASTOS DE EQUIPOS Y SOFTWARE				
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Recursos	TOTAL
			Fuente 1	
			Tipo Recurso	
Computador	2	\$200.000	Propio	\$400.000
Software	1	\$200.000	Propio	\$200.000
Equipo Laboratorio	1	\$100.000	UAN	\$100.000
Taladro	4	\$25.000	Propio	\$100.000
Taller Mecánica	15	\$15.000	Propio	\$225.000
Herramientas	12	\$10.000	Propio	\$120.000
TOTAL				\$ 1.145.000

Tabla 14. Tabla costos equipos y software

DETALLE DE GASTOS EN MATERIALES				
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Recursos	TOTAL
			Fuente 1	
			Tipo Recurso	
Acrílico 10mm	1	\$250.000	Propio	\$250.000
Acrílico 5mm	1	\$220.000	Propio	\$220.000
Acrílico 3mm	1	\$150.000	Propio	\$150.000
Bananas	100	\$700	Propio	\$70.000
Sensores	15	\$35.000	Propio	\$525.000
Potenciómetros	10	\$10.000	Propio	\$100.000
Tornillos	260	\$150	Propio	\$39.000
Motores	5	\$40.000	Propio	\$200.000
Cables	25	\$3200	Propio	\$80.000
Pegante	2	\$15000	Propio	\$30.000
TOTAL				\$ 1.664.000

Tabla 15. Tabla valor del modulo

DETALLE DE GASTOS OTROS				
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Recursos	TOTAL
			Fuente 1	
			Tipo Recurso	
Transporte particular	32	\$10.000	Propio	\$320.000
Transporte Publico	25	\$3.500	Propio	\$87.500
Papelería	60	\$400	Propio	\$24.000
TOTAL				\$431.500

GRAN TOTAL	\$ 6.920.500
-------------------	---------------------

Tabla 16. Tabla costos varios del proyecto

6. Guías de conexión del banco a los PLC

Para la conexión del módulo de sensores a los maletines PLC se utilizaron cables tipo Banana–Banana, no se utilizan fuentes de DC adicionales, ya que, el maletín con PLC dentro de sus equipos tiene una fuente.

6.1. Conexión a sensores

Para realizar las conexiones de los sensores hay que tener en cuenta dos (2) conceptos salidas en análogo para el potenciómetro y en digital para la señal del sensor como tal, dichas salidas están ubicadas en el módulo así:

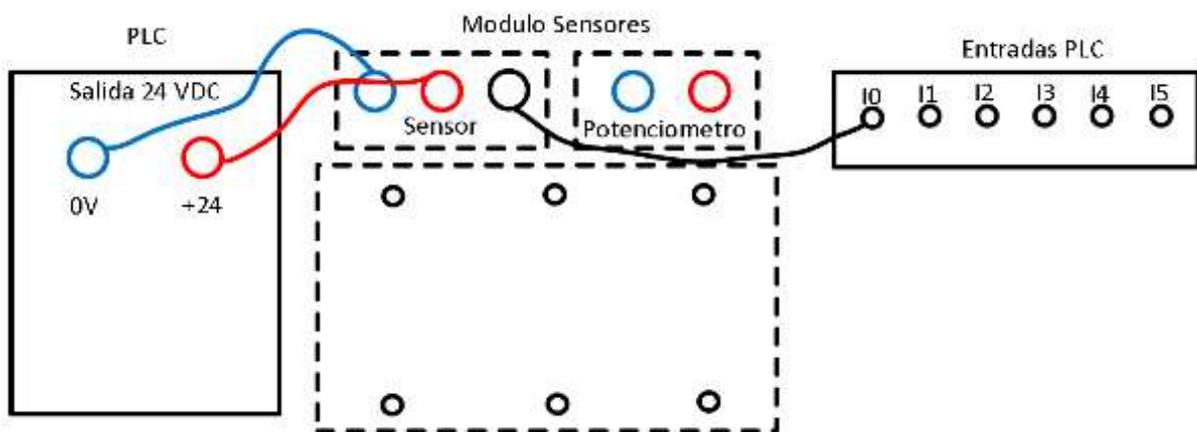


Figura 48. Conexión sensores del módulo al maletín PLC

6.2. Conexión del motor

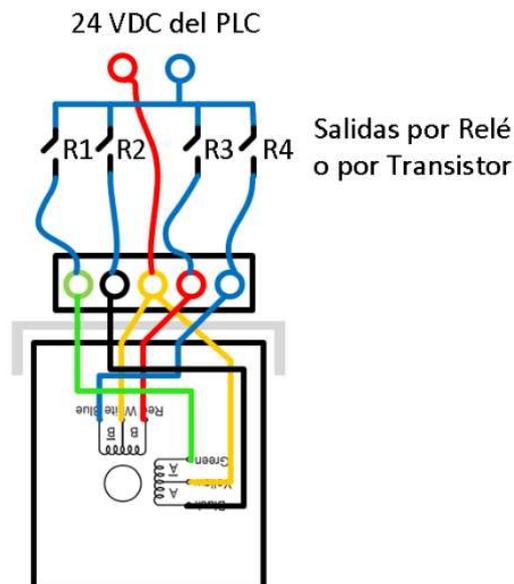


Figura 49. Conexión del motor en módulo al maletín PLC

6.3. Conexión potenciómetro

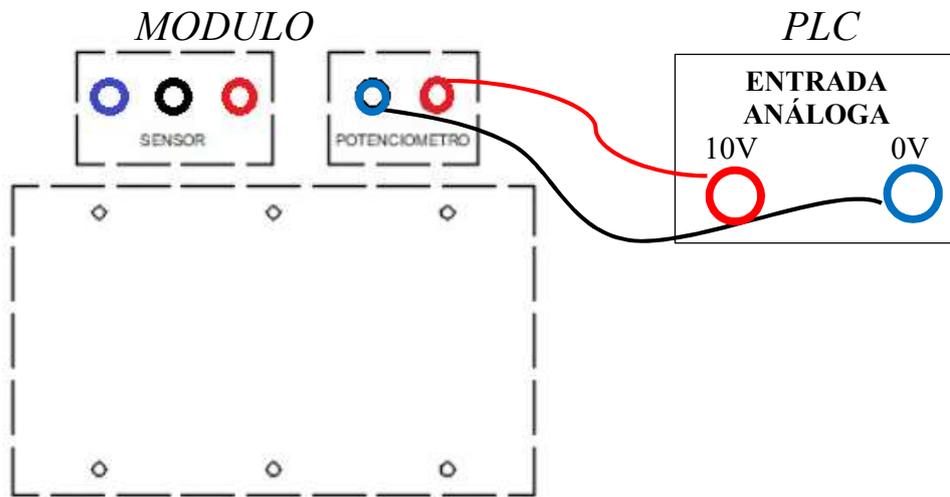


Figura 50. Conexión potenciómetro del módulo al maletín PLC

7. Guías de trabajo

Como se indica en los objetivos se realizaron tres guías de trabajo las cuales contienen:

- Objetivo de la guía.
- Breve marco teórico con enfoque en la práctica a realizar.
- Espacio para diagrama de conexión entre el maletín y el módulo.
- Materiales a utilizar.
- Procedimiento a realizar.
- Diseño del programa que se va a ejecutar.
- Resultados obtenidos.
- Análisis de resultados
- Conclusiones

Para las guías de trabajo lo esencial es conocer las conexiones entre el maletín y el módulo de tal manera que se puedan plantear las configuraciones para cada uno de los objetivos expuestos en las mismas.

- Caracterización de Sensores.
- Control de Velocidad de un Motor Paso a Paso.
- Implementación de un Control de proximidad ON-OFF, a través del PLC y de los sensores presentes en el módulo.

8. Conclusiones

- El diseño de los cinco módulos con sensores de proximidad, fue sencillo a pesar de los cambios que se presentaron en la construcción, ya que, al ser modificaciones de forma no afectaron el diseño inicial, pero si lo hizo el módulo más seguro.
- Se construyeron cinco módulos funcionales que se acoplan perfectamente con los maletines PLC marca PANASONIC, estos módulos son de gran ayuda, un complemento y un aporte didáctico para la enseñanza de materias propias de las ingenierías donde se trabaja con sensores, motores y control.
- Se logró elaborar y diseñar tres guías de prácticas que son sencillas, de fácil entendimiento y que incluyen el uso de todos los elementos que componen el módulo, de manera separada y uno dependiente del otro (Sensor – Motor).
- Al estudiar más a fondo las características de los sensores, se amplió la información para analizar su funcionamiento e interacción con un PLC y cómo medir los parámetros que estos manejan, se evidencio que el sensor capacitivo es el que menor rango de frecuencia tiene (inferior al 1%) con relación a los demás sensores. Así como el rango de detección del sensor réflex, que es por el orden de los centímetros mientras el capacitivo y el inductivo no alcanzan a un centímetro.
- Para realizar el control de velocidad del motor paso a paso se hace fácilmente por medio de una rutina, las salidas del PLC y un temporizador, evidenciando que por cada pulso su desplazamiento circular es pequeño y se requiere de un programa para que sea acelerado su paso, manualmente es complejo.
- Los manuales quedaron de forma sencilla, amigable y practica de tal manera que al realizar las diferentes pruebas, el estudiante no esté expuesto a riesgos, se conozca el de manera rápida el módulo, su contenido y sus posibles usos.

9. Bibliografías

1. Industrial Automation. ¿Qué es un PLC y para qué sirve? (2015/02/20). Artículo de <https://intrave.wordpress.com>
2. Tema 2 El autómata programable. PLC estructura y funcionamiento. (2001-dic) Curso básico. <http://www.sc.ehu.es>
3. Electrónica Circuitos electrónicos e información técnica. Sensores De Proximidad Y Sus Aplicaciones. (2020/01/21). <http://www.electronica2000.com>
4. Ingeniería Mecafenix. La enciclopedia de la ingeniería, Automatización. Sensor inductivo. <https://www.ingmecafenix.com>
5. Ingeniería Mecafenix. La enciclopedia de la ingeniería, Automatización. Sensor óptico. <https://www.ingmecafenix.com>
6. Ingeniería Mecafenix. La enciclopedia de la ingeniería, Automatización. Motor paso a paso. <https://www.ingmecafenix.com>
7. Ingeniería Mecafenix. La enciclopedia de la ingeniería, Automatización. potenciómetro. <https://www.ingmecafenix.com>
8. Automatización. (2017/11/07). 1.Entorno de Programación FPWIN Pro. <https://www.youtube.com>
9. Rechner sensor. Sensor inductivo: Detección sin contacto de objetos de metal que se aproximan. <https://www.rechner-sensors.com/es>
10. Ecured. (2019/07/22). Sensor capacitivo. <https://www.ecured.cu>
11. Naylamp mechatronics. Ficha técnica. Convertidor de voltaje 3A LM2596. <https://naylampmechatronics.com>
12. Manual del sistema SURE STEP
13. Control para motor paso a paso FESTO, república federal de Alemania (2013)
14. Autómatas programables FPOR, manual de usuario, Panasonic

10. Anexos