

Design and Development of a Speed Control System for a Stepper Motor using the PIC18F4550 microcontroller and its interface.

Diseño y Desarrollo de un Sistema de Control de Velocidad para un Motor Paso a Paso mediante el microcontrolador PIC18F4550 y su Interfaz.

Andrés Felipe Romero Medina ¹ , Nicolás Mejía Muñoz² , Robin Alfonso Blanco Cañón ³ .

¹ Universidad ECCI; andresf.romerom@ecci.edu.co

² Universidad ECCI; nicolas.mejiam@ecci.edu.co

³ Universidad ECCI; rblancoc@ecci.edu.co

Recibido: 08/08/2024

Aceptado: 02/11/2024

Fecha de Publicación: 27/11/2024



Derechos de autor: © 2024

Resumen: El motor paso a paso se ha destacado como un componente clave para lograr movimientos controlados y precisos. Este artículo se centra en el diseño y desarrollo de un sistema de control de un motor paso, con un enfoque posterior de aplicación en una grúa que elevará una masa de pequeñas dimensiones de manera vertical. Se examinó a detalle cada aspecto de la ejecución: desde la elección y configuración del motor 28BYJ-48 hasta la implementación de interfaces de control como el teclado matricial 4x4 y la comunicación RS232. En este sistema el control reside en el microcontrolador PIC18F4550. El enfoque del control se ha centrado en dos modos: manual y automático. En el primero, se ha empleado el teclado matricial para permitir una interacción directa con la grúa, ajustando parámetros como velocidad y dirección. Por otro lado, el modo automático ha demostrado la capacidad de realizar movimientos predefinidos, con una cantidad específica de pasos que aseguran la precisión en el posicionamiento. En conjunto, este estudio presenta un sistema integral de control electrónico, que propone aplicabilidad en diversas áreas tecnológicas. A medida que la investigación en este campo progresa, este sistema proporciona una base sólida para futuras mejoras y optimizaciones en sistemas similares.

Palabras clave: microcontrolador PIC18F4550, motor paso a paso, programación de alto nivel, retardos.

Abstract: The stepper motor has been highlighted as a key component to achieve controlled and precise movements. This article focuses on the design and development of a stepper motor control system, with a subsequent application on a crane that will lift a small mass vertically. Each single aspect of the process has been examined in detail: from the selection and configuration of the 28BYJ-48 motor, to the implementation of the interfaces control such as the 4x4 matrix keypad and RS232 communication. In this system the control resides on the PIC18F4550 microcontroller. The control approach has had two modes: manual and automatic. In manual mode, the matrix keyboard has been used to allow direct interaction with the crane, adjusting parameters such as speed or direction. The automatic mode has demonstrated the ability to perform predefined movements, with a specific number of steps that ensure positioning accuracy. Overall, present study shows a comprehensive electronic control system, offering applicability in various technological areas. As research in this field progresses, this system provides a solid foundation for future improvements and optimizations in similar systems.

Keywords: PIC18F4550 microcontroller, stepper motor, high-level programming, delays.

DOI: <https://doi.org/10.57173/ritc.v1n18a5>

1. Introducción

Dentro del ámbito del diseño electrónico cobra gran importancia la creación de elementos de mayor precisión para que posteriormente puedan ser aplicados a distintos entornos, donde se puede identificar que la electrónica implementa una gran variedad de actuadores, como por ejemplo el motor paso a paso, que facilita la comprensión de modelos a baja escala y potencia. Situándose así en el contexto de una aplicación en una pequeña grúa con movimientos precisos. Véase figura 11. En el ámbito educativo, es de gran relevancia para aprender y reconocer el uso de microcontroladores y del distinguir mediante diferentes métodos los tipos de control efectuados sobre este actuador.

A la par el uso del microcontrolador tiene una gran cantidad de usos [1] y así se facilitaría la implementación del control del actuador. Una configuración eficaz garantiza una gestión segura en distintos escenarios [2], una destacada durabilidad y una administración sencilla en términos de mantenimiento. La singularidad inherente del diseño está dado a una gran versatilidad, lo cual habilita una pluralidad del entendimiento en diferentes escenarios reales, como por ejemplo la construcción, entornos donde es necesario la destreza de levantar y posicionar cargas con precisión, confiere a esta implementación su valor distintivo y característico.

En el contexto del conocimiento vigente más específicamente en el ámbito de las investigaciones, como se puede identificar [3] el uso del motor paso a paso en aplicaciones que requieren un alto grado de precisión. Es imprescindible, para dicho propósito, desarrollar una unidad de control, la cual sea capaz de tratar los pasos del motor, dada su caracterización de ser un motor síncrono. En un enfoque complementario, se ha identificado la generación de prototipos, con el fin de generar la precisión posicional significativa [4]. El avance en el desarrollo de este tipo de control proporciona en el ambiente académico una oportunidad para lograr una comprensión más profunda y una adquisición más efectiva de los diversos términos y procedimientos relacionados con el empleo del microcontrolador[1].

Dada la trascendencia intrínseca en la implementación de estos componentes, como lo son las grúas, es conveniente destacar el uso de microcontroladores, pues permite simplificar y automatizar distintos sistemas de control, posibilitan controlar con precisión los parámetros como la temperatura, velocidad, entre otras ventajas. Por otra parte, su flexibilidad ofrece adecuarse a una gama de tareas y su adaptabilidad al proceso de programación. Así mismo, estos generan una influencia al facultar la supervisión de distintos procesos, lo cual resulta elemental para la supervisión remota de las operaciones en curso [5]. Dentro de la industria, es común encontrar diferentes modos de operación, como, por ejemplo, el modo manual otorga a los operadores un control directo sobre los procesos y el modo automático permite la ejecución autónoma de tareas predefinidas. Además, también se pueden encontrar un modo local que involucra la interacción y el control desde la ubicación física, por otro lado, el modo remoto posibilita el control y la supervisión a distancia, ofreciendo la flexibilidad en la intervención de operaciones [6].

Actualmente, el motor paso a paso es un elemento importante en diferentes aplicaciones tecnológicas, su presencia permite un posicionamiento de alta precisión, puesto que responde de manera confiable a los impulsos eléctricos generados [7]. Estos motores generan una respuesta detallada en términos como la velocidad, la dirección y la ubicación del motor, protagonistas en la consecución de estas variables.

El desarrollo de una grúa con la implementación de un motor paso a paso en unión con el microcontrolador PIC18F4550 emerge para alcanzar una precisión del posicionamiento [8], este enfoque pretende materializar la automatización de movimientos predefinidos erradicando la necesidad de intervención humana en tareas repetitivas, Un resultado directo es la reducción sustancial de los accidentes potenciales.

La selección del microcontrolador se fundamenta en su facilidad de programabilidad, flexibilidad, la cual permite el ajuste de los diferentes parámetros. Este elemento, gracias a sus cualidades inherentes, lo convierte en una herramienta de enseñanza excepcional [9], dado que permite comprender los conceptos fundamentales de programación y control de sistemas embebidos, los cuales mediante su uso permiten diseñar proyectos que se reflejan en situaciones del mundo real [10]. Este conjunto subraya la relevancia de generar esta combinación para optimizar la operación en entornos donde se empleen estos elementos.

2. Materiales y métodos

2.1. Materiales

2.1.1 Microcontrolador

El microcontrolador PIC18F4550, desarrollado por la compañía Microchip Technology Inc. ®, este tiene una CPU de 8 bits de arquitectura Harvard. Se destaca por ser ampliamente utilizado en diferentes aplicaciones dentro del control industrial, aplicaciones en automatización. Este ofrece las múltiples ventajas, dentro de las más sobresalientes se encuentra la capacidad en número de entradas y salidas que pueden ser vinculadas en diferentes configuraciones, bien sean de naturaleza analógica, digital, o de vinculación a comunicación [11], la incorporación de periféricos integrados como lo son los contadores, temporizadores y módulos de comunicación UART.

Para la programación se empleó un entorno de desarrollo integrado llamado MPLABX®, es una herramienta desarrollada por Microchip Technology Inc ®. Ofrece una plataforma completa, la cual engloba funcionalidades dentro de las cuales se encuentra compilar, depurar y programar del software pertinente.

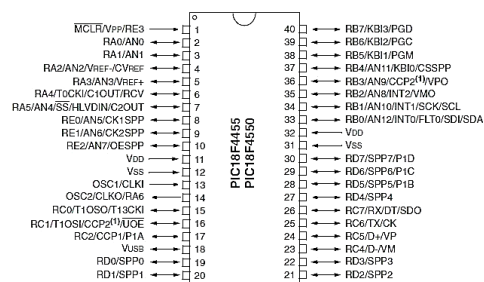


Figura 1. Diagrama de pines PIC18F4550

Fuente (J. A. Beristain, 2023)

2.1.2 Motor paso a paso 28BYJ-48

Es un motor eléctrico que es componente instrumental en aplicaciones que demandan el control preciso de posicionamiento, dentro de las cuales se encuentran las impresoras 3D, las cámaras y robots [12]. Su singularidad reside en la conversión de señales eléctricas en movimientos rotacionales o angulares, lo cual se logra a través de pasos predefinidos. Su configuración interna consta del uso de electroimanes y un sistema de bobinas. Consta en su estructura de un rotor y un estator, este último alberga las fases donde se localizan las bobinas

y se desencadena el movimiento acorde a su polaridad. El elemento que define en gran medida el comportamiento es su secuencia de activación, el cual otorga al motor la capacidad de la ubicación determinada con exactitud.



Figura 2. Motor paso a paso 28BYJ-48.
Fuente (TECMikro Ecuador, 2023)

El adecuado funcionamiento de este dispositivo exige la formulación precisa en las salidas requeridas desde el microcontrolador, delineada con una secuencia de activación, cuyos detalles serán expuestos en etapas posteriores. Esta secuencia es clave para el mecanismo operativo del motor y así generar un control efectivo de la velocidad, donde se debe implementar un sistema de retardos que regularice la cadencia de los pasos.

2.1.3 Adaptador USB-RS232

Es un convertidor que facilita la comunicación entre dos interfaces, una de USB y otra con RS-232, actuando como puente entre estas dos interfaces, es empleada normalmente para transmitir datos entre dispositivos electrónicos con la utilización de cables seriales [13], y permite establecerse de forma unidireccional o bidireccional, tiene como ventaja que es rápido y eficiente en la transmisión de información y que puede ser adaptado a diferentes tecnologías.



Figura 3. Adaptador USB a TTL RS232.
Fuente (www.electronicaplugandplay, 2023)

2.1.4 Teclado Matricial

Este dispositivo de entrada se configura con un diseño compacto y una eficiencia para facilitar la interacción óptima con los sistemas electrónicos. Su estructura engloba una matriz de botones, los cuales se encuentran dispuestos en filas y columnas, que habilita a los usuarios ingresar datos y obtener información precisa [10]. Su funcionamiento se enfoca en un multiplexado donde se hace un barrido secuencial de las filas y columnas, el cual posibilita que el microcontrolador determine con exactitud cuál fue la tecla pulsada. De esta manera, el teclado captura de manera efectiva las entradas del usuario.



Figura 4. Teclado matricial 4x4.
Fuente (Teslab, 2023)

2.1.5 Lenguaje C

Este lenguaje se destaca por su flexibilidad y rendimiento, el cual lo ha posicionado en aplicaciones de bajo y alto nivel. El uso de este lenguaje con el microcontrolador permite acceder directamente a la representación electrónica del hardware. Esta sinergia proporciona la facultad de manejar la utilización de los periféricos y memoria del controlador, al tiempo favorece la portabilidad que permite en el empleo en diferentes plataformas[14]. De igual manera, ofrece el manejo de forma estructurada, la cual facilita al programador dividir, depurar y hacer mantenimiento de manera más fácil, adicionalmente, concede acceso a múltiples recursos como librerías, enriqueciendo así su utilidad.

2.2. Métodos

El proceso se encuentra dividido en tres etapas, cada una de ellas será detallada a continuación. La primera etapa se aborda la creación del control para la secuencia de giros, permitiendo tanto el movimiento horario como antihorario. En la segunda etapa, se introduce el control de velocidad mediante la incorporación de retardos y el uso de intervalos de tiempo, cuyos detalles se encuentran expuestos con mayor profundidad en las secciones posteriores del documento.

En esta misma etapa, se presenta la configuración del modo local, el cual actúa en consonancia con los datos ingresados por el usuario a través del teclado, y la implementación del modo remoto, el cual es generado por la introducción de datos mediante consola. Dentro de la última etapa se plantea la integración de los métodos desarrollados en la etapa uno y dos, donde se implementan tres niveles o pisos, los cuales se controlan automáticamente a una velocidad constante. Este enfoque culmina con un sistema que abarca diversas modalidades de manejo y automatización.

2.2.1 Etapa 1

En la fase inicial, se ha dirigido con un enfoque en el control de las interacciones de entrada y salida en el microcontrolador, con el propósito de comprender cómo estas actúan con los diferentes puertos y periféricos. Véase figura 2.

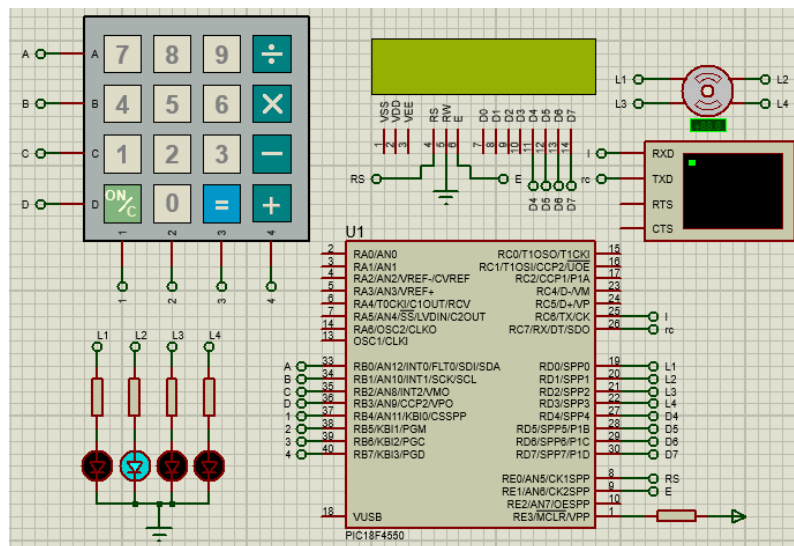


Figura 5. Configuración electrónica y disposición de los elementos.

De manera simultánea, la información obtenida bajo un estímulo mecánico, implementado como un pulsador normalmente abierto, se recopila y se genera de manera bidireccional para generar cambios en el movimiento del motor paso a paso. Una vez establecida esta base en el control de entradas, se procede a categorizar los diferentes métodos de funcionamiento entre sus variantes operativas dentro de las cuales se encuentran:

Secuencia de Onda: En este hace relación al patrón de activación secuencial e individual de las bobinas. Este proceso se traduce en la energización sucesiva de cada una de las bobinas, está en un orden ascendente de manera individualizada.

Paso Completo: Se caracteriza por la activación alternada de las bobinas, generando así el movimiento del rotor. Esta alternancia resulta en incrementos fijos y predefinidos del ángulo en el movimiento.

Medio Paso: En este enfoque, se establece que las bobinas deben ser activadas de manera intercalada, promoviendo una resolución más precisa del movimiento, la cual posibilita un desplazamiento más fino y detallado del sistema.

La manera en la cual se lleva a cabo la activación de cada una de las bobinas durante la secuencia de paso completo. Véase en la figura 6. En esta representación gráfica, se representa la primera configuración para cada una de las secuencias previamente expuestas.

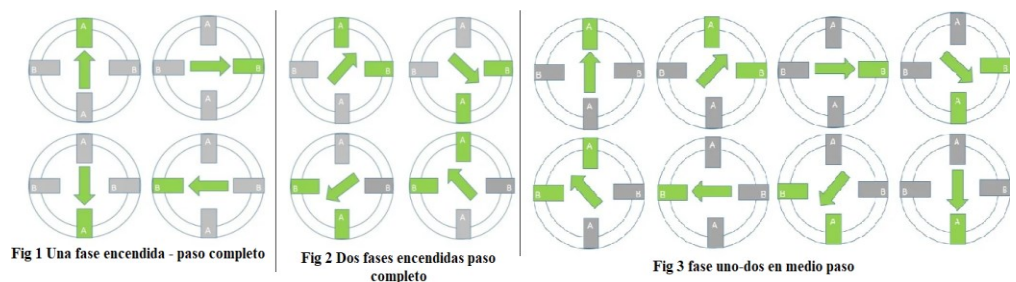


Figura 6. Tipos de activación del motor paso a paso.
Fuente (RS Components International, 2023)

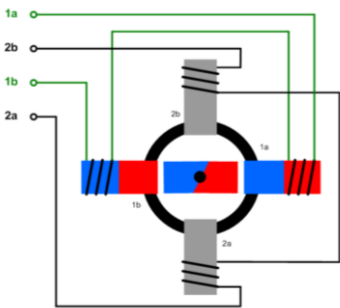


Figura 7. Configuración e identificación de las bobinas del motor paso a paso
Fuente (Omc-stepperonline, 2023)

En particular se hace uso de la Figura 7. como referencia fundamental para el diseño del diagrama expuesto en la Figura 8. el cuál es la representación de la activación de cada una de las bobinas para la secuencia establecida.

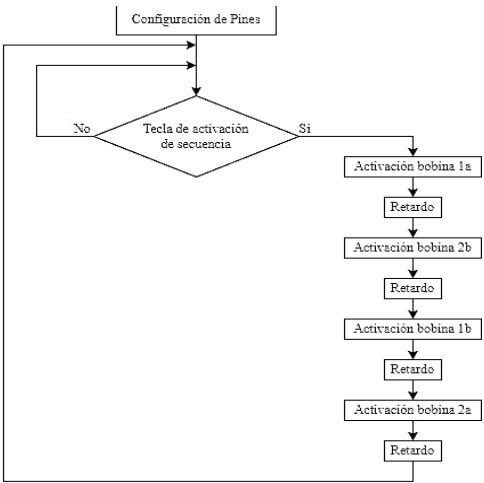


Figura 8. Activación de secuencia de movimiento del motor sentido de giro horario

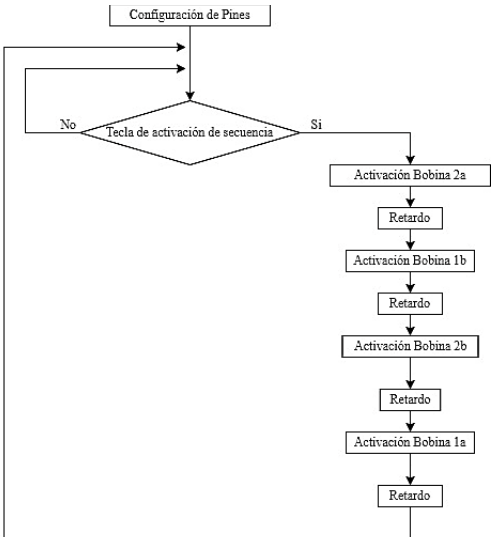


Figura 9. Activación de secuencia de movimiento del motor sentido de giro antihorario

2.2.2 Etapa 2

En esta etapa se ha determinado la cantidad de revoluciones por minuto que este motor produce. En otras palabras, se ha evaluado la cantidad de rotaciones completas que genera el motor para dar una vuelta en un minuto. Dentro del contexto definiremos como **orden** a toda operación generada mediante el uso del teclado matricial y **comando** a la información recibida mediante el módulo RS232.

Es relevante destacar que este motor efectúa treinta y dos pasos para completar una vuelta, su configuración interna incluye una caja reductora que genera una relación de 64 pasos, otorgando una precisión más fina. Esta combinación de pasos del motor y de la caja reductora resulta un total de 2048 pasos ejecutados por la salida del reductor. A partir de este análisis se ha elaborado una tabla que establece la relación entre la velocidad generada y los parámetros de los pasos.

Tabla 1. Configuración de la velocidad del motor

Descripción	Velocidad (RPM)	Tiempo entre pasos completos (ms)
Velocidad 1	0	0
Velocidad 2	0.2	146.484
Velocidad 3	0.3	97.656
Velocidad 4	0.5	58.593
Velocidad 5	1	29.296
Velocidad 6	1.2	24.414
Velocidad 7	1.5	19.531
Velocidad 8	2	14.648
Velocidad 9	2.5	11.718
Velocidad 10	3	9.763

Con el propósito de instigar los cambios en el sistema, se empleó el uso de interrupciones, mecanismo que permite suspender temporalmente el flujo de ejecución para dar atención a otros eventos. En este proceso de desarrollo se han concebido dos tipos distintos de interrupciones, uno de ellos se basa en un sistema mecánico de pulsadores implementado mediante un teclado matricial, el cual cada uno de los botones representa una combinación única entre la fila y la columna. Para lograr esta representación, se ha empleado un método de enmascaramiento, una técnica que involucra la aplicación de un conjunto de valores, para obtener resultados específicos. Una vez que el teclado ha sido configurado, se procede a habilitar las interrupciones y se generan diferentes rutinas de interrupción. Estas rutinas varían según los cambios requeridos, abarcando aspectos tales como la variación de velocidad, tipo de movimiento y tipo de control. El segundo modo de operación se basa en la interrupción de valores predefinidos, generados a través del módulo RS232.

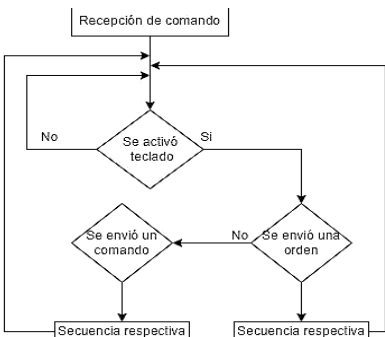


Figura 10. Conversión del sistema entre modo local y remoto

En este contexto se ha desarrollado la integración entre las interfaces USB y RS232, generando el llamado de los registros adecuados para que estos tengan una comunicación bidireccional. La velocidad de comunicación se ha fijado en 9600 bits por segundo, garantizando la transferencia eficiente de datos, se ha incorporado esta funcionalidad en la rutina de interrupción de tal manera que este sea conocido como el modo remoto y se ha consolidado el teclado matricial como de control local.

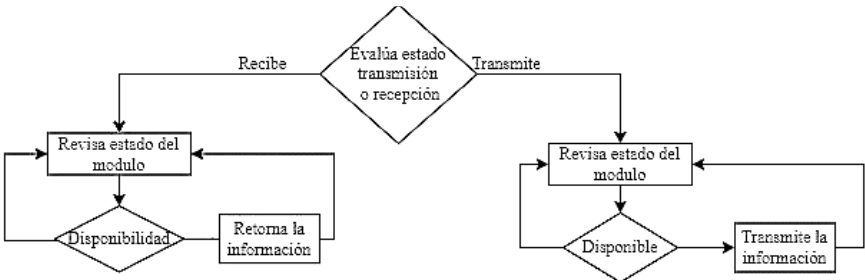


Figura 11. Configuración del módulo USB RS232 para transmisión y recepción.

2.2.3 Etapa 3

El objetivo planteado en esta etapa consistió en la construcción de la grúa capaz de elevar y descender una masa de dimensiones reducidas. Este se equipa con una pequeña polea de 1.6 centímetros de radio interno, presentando una estructura cilíndrica acanalada. Adicionalmente, se adhiere una cuerda con una longitud no menor a 40 centímetros, la cual se encuentra sujeta en un extremo de la polea mencionada y en el otro extremo la masa en cuestión. Esto se ilustra en la figura 12.

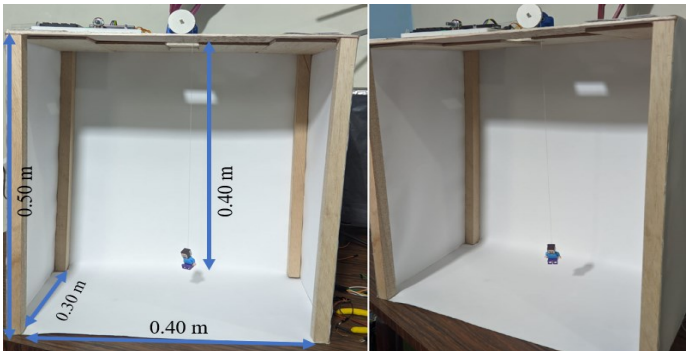


Figura 12. Estructura diseñada.

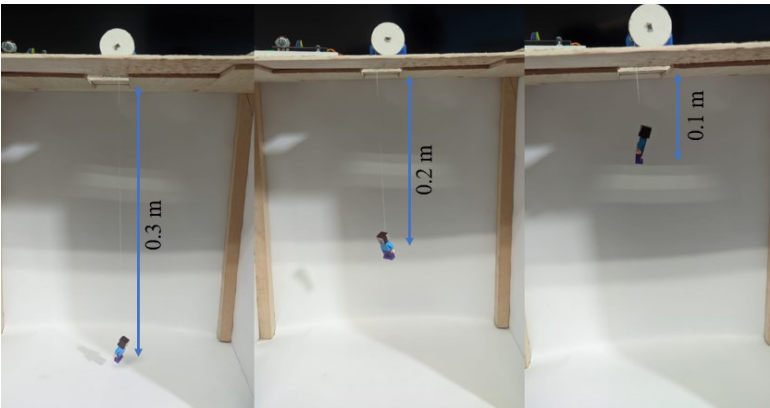


Figura 13. Configuración de pisos en modo automático.

Se ha previsto la interacción de tres alturas o niveles definidos, los cuales están equidistantes a una distancia de 10 centímetros entre sí (Véase Figura 13). La dirección y el control del movimiento será gestionada a través de un teclado matricial de dimensiones 4x4. En este teclado, cada tecla tendrá asignada una función específica de acuerdo con la Tabla 2. Que se presenta a continuación:

Tabla 2. Configuración de teclado.

Tecla	Acción
1	Giro horario en el motor (GH)
2	Giro antihorario en el motor (GA)
3	Ajusta el movimiento a secuencia de onda (SDO)
A	Ajusta el movimiento a paso completo (SPC)
4	Ajusta el movimiento a medio paso (SMP)
5	Parada de emergencia (PE)
6	Ajusta velocidad a 0.3 RPM (V1)
B	Ajusta velocidad a 0.5 RPM (V2)
7	Ajusta velocidad a 1 RPM (V3)
8	Ajusta velocidad a 2 RPM (V4)
9	Ajusta velocidad a 3 RPM (V5)
C	Cambia modo manual y automático (M o A)
*	Cambia entre control local o remoto (L o R)
0	La masa se moverá al piso 1 (P1)
#	La masa se moverá al piso 2 (P2)
D	La masa se moverá al piso 3 (P3)

Para la configuración del LCD se generó la distribución planteada en la figura 14. En el cual la esquina superior izquierda indica el modo manual o automático, centro, superior indica la secuencia de movimiento, esquina superior derecha indica a qué velocidad se mueve el motor, esquina inferior izquierda indica el control local o remoto, centro inferior indica el sentido de giro del motor, y finalmente en la esquina inferior izquierda indica en que piso se encuentra actualmente.

A	SDO	V2
L	GH	P3

Figura 14. Distribución de indicaciones en el LCD

El enfoque manual involucra la acción constante de controlar el motor paso a paso, estando al pendiente de las modificaciones que el usuario seleccione, tales como la velocidad, la dirección de giro y la secuencia detallados en la fase uno y dos anteriormente descritas. El desarrollo automático se caracteriza por la capacidad de desplazamiento autónomo hacia el piso señalado, limitado por un número de pasos en el motor, empleando una velocidad constante por defecto de 1 RPM.

3. Resultados

Se puede observar en la Figura 15. Un conjunto de imágenes que detallan la configuración de la forma física de la estructura y la interconexión de los componentes eléctricos. Además, se realizó una validación exhaustiva de la funcionalidad en los distintos modos propuestos, como lo son manual, automático, local y remoto. Durante estas pruebas se evidenció, la capacidad de cambiar la posición de forma efectiva. Se constató que el control implementado mediante retardos basado por el número de pasos del motor contribuye en la distribución precisa de las cargas en la grúa.

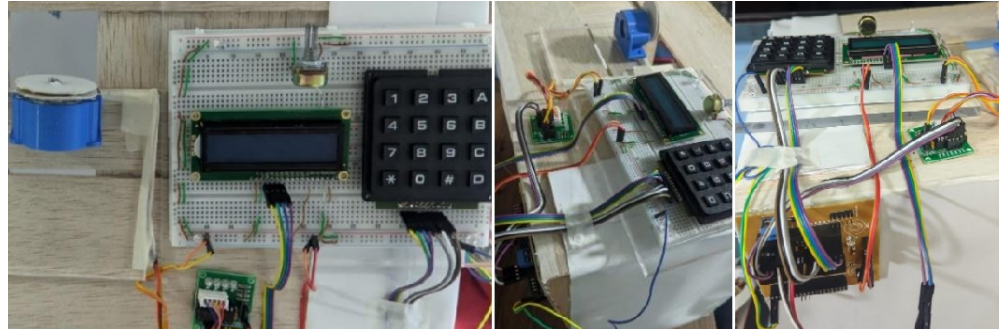


Figura 15. Diseño electrónico generado

Este diseño ofrece una comprensión detallada y práctica del diseño y desarrollo de un sistema de control para el entendimiento del uso de microcontroladores dentro del contexto aplicativo de una grúa. Destacando la utilización del motor paso a paso como elemento central. A lo largo de la exploración, se ha generado una implementación exitosa de los modos de control manual y automático, cada uno con sus propias características y ventajas.

En la configuración de la LCD se identificó como elemento de gran importancia para la visualización de manera local, en la cual se puede acceder a la información actual del sistema (Véase Fig. 16).

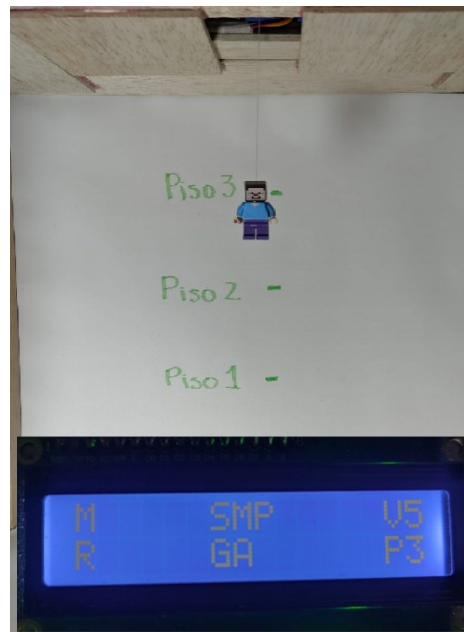


Figura 16. Disposición de LCD y estado actual

De la misma manera en (Véase Fig. 17) se puede reconocer que el modo remoto también presenta la actualización de los parámetros de movimiento del sistema.



Figura 17. Disposición de mensajes en consola

En el modo manual, se ha demostrado la viabilidad de controlar una grúa de manera directa mediante la interacción con un teclado matricial 4x4. Esto permite ajustar parámetros como velocidad y dirección del movimiento, otorgando así al usuario un control total sobre el sistema. Por otro lado, el modo automático ha demostrado su eficiencia en la ejecución de movimientos predefinidos y programados entre cada uno de los pisos. A través de la comunicación RS232, se ha transmitido comandos de control desde dispositivos externos, los cuales fácilmente podrían ser computadores o dispositivos móviles, en el que se permite una ejecución automatizada y precisa de las operaciones de forma remota.

Las pruebas realizadas han validado la precisión y la versatilidad del sistema de control implementado, se hacen evidentes a través de los resultados obtenidos durante las pruebas. Después de mover la masa entre los diferentes pisos, se logró un posicionamiento constante y preciso de 10 centímetros en cada nivel sin la necesidad de emplear sensores adicionales. Esto destaca la capacidad inherente del motor paso a paso y la eficacia del control diseñado para garantizar un desplazamiento exacto, lo que es esencial en aplicaciones donde la precisión en el posicionamiento. De la misma manera se ha desarrollado un conjunto de movimientos suaves y consistentes en ambos modos de operación, confirmando la capacidad del motor paso a paso para garantizar resultados confiables.

Estos resultados subrayan la aplicabilidad y el potencial del sistema en diversas áreas, de la misma manera una integración con el entendimiento y el uso de microcontroladores, los

cuales pueden ser proyectados en la industria mediante la automatización de procesos. Los avances realizados sientan base para futuros desarrollos en el campo de la electrónica, junto con la implementación de nuevos modelos dinámicos, formando mejoras y optimizaciones continuas en sistemas similares.

5. Conclusiones

Este artículo ha abordado detalladamente el diseño y desarrollo de un sistema de control para la aplicación en una grúa, basado en la implementación de un motor paso a paso 28BYJ-48. Este motor es de gran utilidad para el entendimiento en campos como la electrónica, el cual permite ser empleado en múltiples aplicaciones. Su amplia capacidad de traducir señales eléctricas en movimientos angulares predefinidos es esencial para la ejecución de operaciones controladas en los diferentes espacios de aplicación. En el contexto del entendimiento del uso de microcontroladores, se ha evidenciado la facilidad para establecer los diferentes modos de control donde este facilita la creación de sistemas interactivos y autónomos. A lo largo de este análisis se han examinado los componentes claves de este sistema, como la configuración del motor, hasta la incorporación de interfaces de control como el teclado matricial 4x4 y la comunicación RS232. El enfoque está centrado en un control manual y automático, destacando las ventajas y funcionalidades distintivas de cada uno.

Se ha demostrado la capacidad de generar movimientos precisos mediante la manipulación de las señales de las bobinas del motor, permitiendo cambios en la posición y comportamiento de la grúa. Al explorar el control manual, se ha permitido el manejo de parámetros como la velocidad, la dirección y el tipo de movimiento, estableciendo una interacción directa con el sistema. En paralelo, el control remoto implementado mediante la comunicación RS232 posibilita el control a distancia y demostrando la versatilidad del sistema en diferentes contextos.

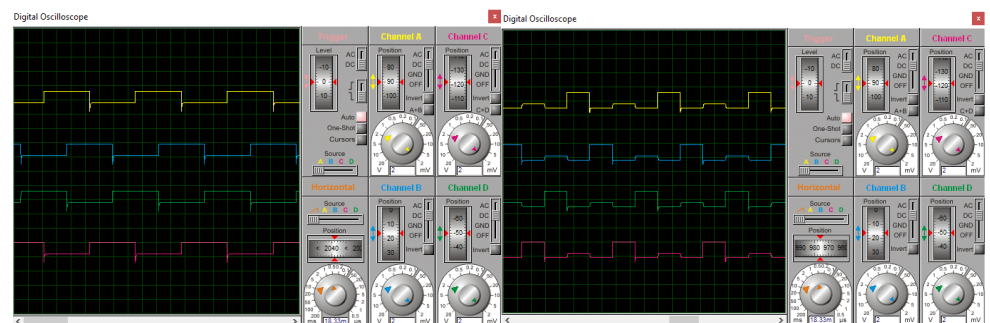


Figura 18. Visualización del osciloscopio en las bobinas en velocidad-3 vs velocidad-4

En la Figura 18, se proporciona una clara representación del comportamiento del motor paso a paso en respuesta a diferentes velocidades de operación. En la parte izquierda, los pulsos indican un funcionamiento a 1 RPM, mientras que en la parte derecha se observa una velocidad de 1.5 RPM. Esta representación gráfica permite identificar de manera efectiva el cambio de velocidad y cómo influye en las señales de activación del motor. La visualización de las señales de pulso proporciona información valiosa sobre la respuesta del motor a variaciones de velocidad.

El sistema ofrece dos modos de operación distintos, cada uno con su propósito específico. El modo manual se presenta como una herramienta fundamental en entornos de mantenimiento o calibración, permitiendo un control directo y detallado sobre el sistema. Esto es invaluable para ajustes precisos y verificaciones en tiempo real. Por otro lado, el modo automático brinda la posibilidad de interactuar con el sistema de una manera más segura, alejada de la operación directa. Esto habilita la supervisión remota y la ejecución automática de acciones, lo que resulta beneficioso en situaciones donde la intervención humana directa no es deseable o es insegura. La combinación de estos dos modos proporciona flexibilidad y versatilidad en la gestión de la grúa en diferentes contextos y aplicaciones.

El modo automático ha demostrado su capacidad para efectuar movimientos predefinidos, llevando a cabo el seguimiento de una cantidad específica de pasos que asegura la ubicación de las cargas. Por otro lado, el manual ha permitido el control intuitivo adaptable a las necesidades del usuario. Este estudio ha presentado un sistema de control integral para una grúa. Donde los resultados subrayan viabilidad y versatilidad en diferentes aplicaciones tecnológicas. El sistema abre la puerta a futuras mejoras y optimizaciones en el diseño y en el control de sistemas electrónicos similares.

Referencias

- [1] M. Ernesto Serrato Maldonado, R. Alfonso Blanco Canon, y F. Barrera Prieto, "Pedagogical tool for programming and reading a PIC microcontroller by means of an embedded Raspberry pi system and an easy-to-use graphical interface", *KnE Engineering*, ene. 2020, doi: 10.18502/keg.v5i1.5924.
- [2] R. H. Haycock, "Remote-controlled stepper-motor-activated cryogenic valve: design, development, and testing", en *Cryogenic Optical Systems and Instruments VII*, 1996, pp. 166–173.
- [3] I. Virgala, M. Kelemen, A. Gmitterko, y T. Lipták, "Control of stepper motor by microcontroller", *Journal of Automation and Control*, vol. 3, núm. 3, pp. 131–134, 2015.
- [4] S. J. Parmar, M. S. Zala, I. S. Thaker, y K. M. Solanki, "Design and Development of Stepper Motor Position Control using Arduino Mega 2560", *International Journal of Science Technology and Engineering*, vol. 3, núm. 09, 2017.
- [5] M. A. Sánchez, F. J. García, J. L. Muñoz, y J. M. Fernández, "Aplicación de microcontroladores en el control de grúas", *Revista de Ingeniería Industrial*, vol. 38, núm. 2, pp. 133–141, 2017, doi: 10.1016/j.rii.2017.03.001.
- [6] J. M. López-Peña y J. L. Pérez-Cadenas, *Sistemas de automatización industrial: conceptos y aplicaciones*. McGraw-Hill Interamericana, 2019.
- [7] D. Rodríguez-Hidalgo, J. M. López-Peña, y J. L. Pérez-Cadenas, "Motores paso a paso: fundamentos, aplicaciones y perspectivas", *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, vol. 14, núm. 1, pp. 1–14, 2017.
- [8] D. Vehículos, M. Ernesto Serrato Maldonado, A. Stiven Vigoya Cubillos, M. Robin Alfonso Blanco Cañon, y I. Juan Emilio Sanabria Sanabria, "DESIGN OF A CABIN HEATING CONTROL FOR DROWSINESS PROBLEMS IN VEHICLE DRIVERS DISEÑO DE UN CONTROL DE CALEFACCION DEL HABITÁCULO PARA PROBLEMAS DE SOMNOLENCIA EN CONDUCTORES".
- [9] M. Á. González-Gutiérrez, J. A. López-Martín, y J. A. Ortega-Martínez, "Microcontroladores como herramientas de enseñanza en ingeniería", *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, vol. 16, núm. 2, pp. 247–256, 2019.
- [10] A. F. Rivera y G. F. Sandoval, "Elevador Matrix", # *ashtag*, núm. 7, pp. 61–76, 2015.
- [11] P. By ALLDATASHEETCOM, "PIC18LF4455-I-PT MICROCHIP | Alldatasheet", 2009.
- [12] X. Zhu, W. Zhang, y X. Chen, "A review of stepper motors for robotics", *IEEE Robot Autom Lett*, vol. 4, núm. 4, pp. 4044–4051, 2019, doi: 10.1109/LRA.2019.2939728.

- [13] N. Lekic, Z. Mijanovic, R. Dragovic-Ivanovic, y D. Filipovic, "The simple RS232 hub to interface microcontroller peripheral devices with the central processor", en *10th IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems, 2003. ICECS 2003. Proceedings of the 2003*, 2003, pp. 1208–1211.
- [14] J. Pardue, "C programming for microcontrollers", *Smiley micros*, vol. 200510, 2005.