

Laboratorio 1 - Tecnologías de Microprocesamiento

Ignacio Martínez

Ingeniería Mecatrónica

UTEC

Mercedes, Uruguay

ignacio.martinez.s@estudiantes.utec.edu.uy

Damian Bonilla

Ingeniería Mecatrónica

UTEC

Mercedes, Uruguay

Matias Hernandez

Ingeniería Mecatrónica

UTEC

Mercedes, Uruguay

matias.hernandez@estudiantes.utec.edu.uy

Resumen—Este laboratorio abordó la implementación de sistemas digitales aplicados al control y comunicación de dispositivos mediante el microcontrolador ATmega328P. Se desarrollaron cuatro problemas principales: en el primero, se automatizó una punzonadora con cinta transportadora, gestionando modos de operación y monitoreo en tiempo real a través de USART. En el segundo, se programó una matriz de LEDs para mostrar mensajes desplazables y figuras predefinidas con interacción vía UART. En el tercero, se implementó un convertidor digital-analógico (DAC) de tipo R-2R mediante una LUT en lenguaje ensamblador, generando señales analógicas visualizadas en osciloscopio. Finalmente, en el cuarto problema, se programó un plotter monocromático controlado por PLC para la ejecución de figuras básicas mediante comunicación serial. La experiencia permitió profundizar en el uso de lógica secuencial, programación en ensamblador, manejo de periféricos y la integración de hardware digital en aplicaciones prácticas.

Index Terms—ATmega328P, punzonadora, USART, matriz de LEDs, DAC, R-2R, LUT, ensamblador, plotter, PLC, comunicación serial.

I. INTRODUCCIÓN

Las tecnologías de microprocesamiento constituye un pilar fundamental en el desarrollo de sistemas de control y automatización, donde la integración entre hardware programable y lógica secuencial permite resolver problemas prácticos. Este laboratorio se enfocó en el diseño, programación y análisis de diferentes aplicaciones digitales utilizando el microcontrolador ATmega328P, Assembler y diversos periféricos externos.

La metodología empleada contempló el análisis lógico de cada sistema, la programación en lenguaje ensamblador, la simulación previa y la validación experimental mediante prototipos físicos. Este enfoque permitió comprender de manera integral tanto el diseño conceptual como la implementación técnica de los circuitos digitales planteados en la consigna.

Entre las actividades desarrolladas se incluyó la automatización de una punzonadora con cinta transportadora, gestionando distintos modos de operación y comunicación mediante USART. El control de una matriz de LEDs capaz de mostrar mensajes desplazables y figuras predefinidas. La generación de señales analógicas a través de un conversor digital-analógico R-2R implementado con una tabla de valores (LUT). Y finalmente, la programación de un plotter monocromático controlado por PLC para la ejecución de figuras geométricas simples mediante comunicación serial.

Cada uno de estos sistemas fue diseñado y probado, destacando el uso de programación a bajo nivel y la integración de múltiples componentes digitales. Este informe documenta el proceso de diseño, simulación y puesta en práctica de las soluciones implementadas, para posteriormente analizar los resultados y validar el correcto funcionamiento de los dispositivos en un entorno real.

II. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar, programar y validar sistemas digitales utilizando el microcontrolador ATmega328P, integrando lógica secuencial, comunicación serial y periféricos externos, con el fin de implementar soluciones prácticas de control, visualización y conversión de señales.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Implementar un sistema de control para una punzonadora con cinta transportadora, utilizando una máquina de estados finitos que gestione perfiles de carga diferenciados y reporte telemetría vía USART.
- Desarrollar un sistema de visualización en una matriz de LEDs 8x8 capaz de mostrar mensajes desplazables y figuras predefinidas, empleando interrupciones de temporizador y comunicación serial.
- Construir un conversor digital-analógico de tipo R-2R controlado mediante una tabla de búsqueda (LUT), verificando su funcionamiento en simulación y montaje físico mediante osciloscopio.
- Programar un plotter monocromático controlado por PLC, que ejecute trazados geométricos básicos a partir de un menú serial, coordinando movimientos y activación de la lapicera.

III. MATERIALES UTILIZADOS

Para el desarrollo del presente laboratorio se dispuso de módulos mecánicos, componentes electrónicos, fuentes de alimentación y herramientas de simulación. Estos elementos permitieron implementar cada uno de los sistemas planteados en la consigna —punzonadora, matriz de LEDs, DAC y plotter—, integrando tanto la etapa de control digital con el ATmega328P como la validación experimental mediante instrumentación. A continuación, se detallan los materiales específicos utilizados en cada problema y los equipos de apoyo empleados durante las pruebas.

Problema A: Cinta transportadora y punzonadora:

- Kit mecánico de cinta transportadora con punzonadora (*Fischertechnik*).
- Motor DC para la cinta transportadora.
- Actuador eléctrico para el punzón.
- LEDs indicadores con resistencias limitadoras.
- Fuente de alimentación: 5 V (lógica) y 9–12 V (actuadores).

Problema B: Matriz de LEDs:

- Matriz de LEDs 8×8 modelo 1088AS.
- Resistencias limitadoras para cada columna y fila.

Problema C: DAC R–2R de 8 bits:

- Red resistiva R–2R de 8 bits.
- Resistencias de valores R y 2R.
- Osciloscopio para visualización de la señal.

Problema D: Plotter controlado por PLC:

- PLC con entradas digitales.
- Interfaz de potencia entre el ATmega328P y el PLC (relés, MOSFET u optoacopladores).
- Mecanismo del plotter con motores y finales de carrera.
- Botón de emergencia y pulsador de RESET.

Instrumental y software:

- Microcontrolador ATmega328P.
- Protoboard, cables Dupont y jumpers.
- Fuente de alimentación regulable.
- Osciloscopio digital.
- Multímetro.
- Software de simulación Proteus.
- Entorno de desarrollo Microchip Studio.

IV. MARCO TEÓRICO

El estudio de las tecnologías de microprocesamiento es fundamental en sistemas de control y automatización. Mediante microcontroladores como el ATmega328P —que integran periféricos de entrada y salida, comunicación serial y temporizadores— es posible implementar soluciones prácticas como el control de actuadores, la visualización en matrices de LEDs y la generación de señales analógicas mediante conversores digitales a analógicos.

El ATmega328P es un microcontrolador de 8 bits perteneciente a la familia AVR de Microchip Technology. Incorpora una arquitectura RISC mejorada con 32 registros de propósito general, lo que permite una ejecución eficiente de instrucciones en un solo ciclo de reloj. Opera a una frecuencia máxima de 20 MHz y dispone de 32 KB de memoria Flash para programas, 2 KB de SRAM y 1 KB de EEPROM. Entre sus principales periféricos se incluyen temporizadores de 8 y 16 bits, convertidor analógico-digital (ADC) de 10 bits, comunicación serial mediante USART, SPI e I²C, además de múltiples pines GPIO configurables como entrada o salida digital, en la Fig. 1 se encuentra un diagrama pinout del mismo. Gracias a estas características, el ATmega328P es ampliamente utilizado en aplicaciones de control, automatización y prototipado, siendo el núcleo de placas de desarrollo como Arduino Uno en la Fig. 2 se encuentra una imagen del mismo.

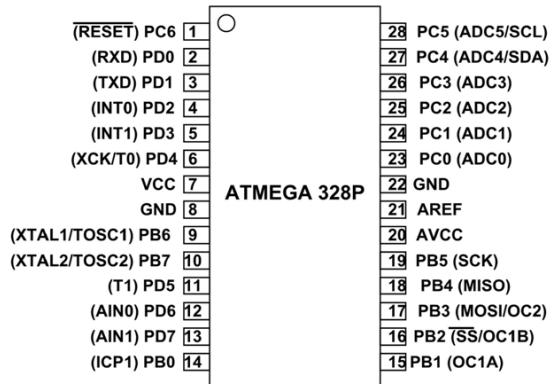


Figura 1: Microcontrolador ATmega328P

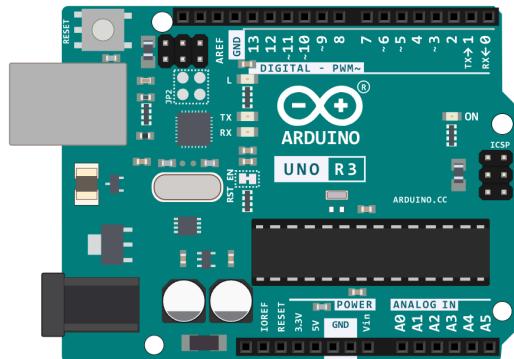


Figura 2: Plataforma Arduino UNO

Los kits Fischertechnik son sistemas modulares de construcción orientados al ámbito educativo y formativo en ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM). Están compuestos por piezas mecánicas, sensores, actuadores y módulos electrónicos que permiten el armado de modelos funcionales, tales como cintas transportadoras, elevadores, robots móviles o mecanismos de automatización.

Su principal objetivo es brindar una plataforma práctica para el aprendizaje, facilitando la comprensión de conceptos de mecánica, electrónica y control mediante la experimentación directa. Estos kits resultan especialmente útiles en laboratorios de ingeniería mecatrónica, ya que permiten integrar de manera didáctica el hardware físico con el control programado a través de microcontroladores o PLCs. En la Fig. 3 se encuentra una imagen del kit utilizado durante el laboratorio.

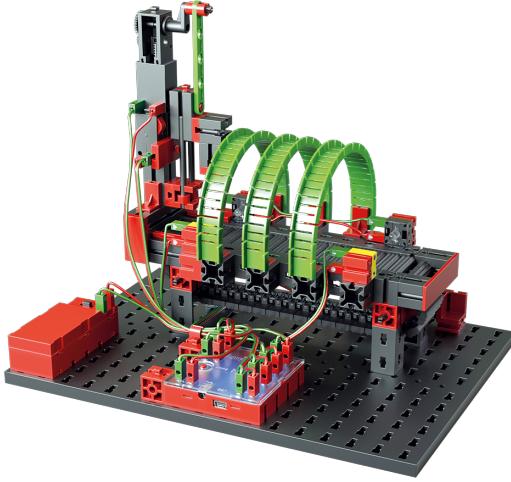


Figura 3: Kit de construcción Fischertechnik

La comunicación USART (Universal Synchronous and Asynchronous Receiver-Transmitter) es un periférico integrado en muchos microcontroladores que permite la transmisión y recepción de datos tanto en modo asíncrono, como en UART, como en modo síncrono mediante una señal de reloj compartida. En el modo asíncrono, la transmisión se realiza de manera secuencial a través de una línea de transmisión (TX) y otra de recepción (RX), utilizando tramas con bits de inicio, datos, paridad opcional y bits de parada. En el modo síncrono, además de TX y RX, se incorpora una línea de reloj (XCK) que asegura que emisor y receptor trabajen sincronizados.

Este tipo de comunicación resulta muy versátil en sistemas de microprocesamiento, ya que permite conectar microcontroladores con periféricos externos, computadoras u otros dispositivos digitales de manera confiable y flexible. Gracias a su capacidad de operar en ambos modos, la USART se emplea en aplicaciones que van desde el monitoreo y depuración hasta el control remoto de sistemas embebidos. En la Fig. 4 se presenta un esquema representativo de este protocolo.

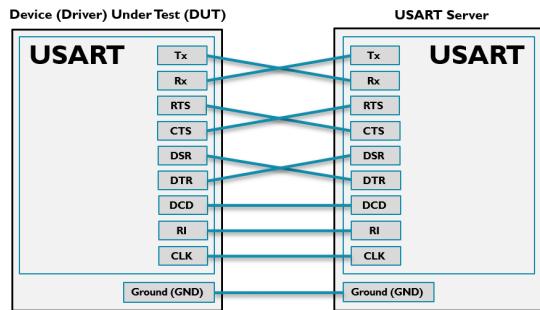


Figura 4: Esquema de comunicación USART

Una matriz de LEDs 8x8 es un dispositivo de visualización compuesto por 64 diodos emisores de luz dispuestos en una cuadrícula de 8 filas por 8 columnas. Cada LED puede ser controlado individualmente mediante un sistema de multiplexado,

lo que permite representar caracteres, símbolos o gráficos simples en formato de puntos (dot matrix).

Estas matrices suelen emplearse en proyectos de electrónica y microprocesamiento para la creación de mensajes desplazables, animaciones o indicadores visuales. Su control puede realizarse de manera directa mediante microcontroladores, utilizando registros de desplazamiento, o a través de controladores especializados como el MAX7219, que simplifican el manejo del encendido y apagado de cada LED. En la Fig. 5 se encuentra un diagrama de la misma.

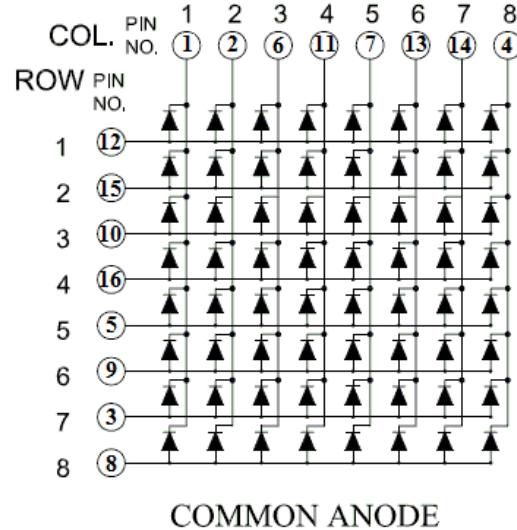


Figura 5: Matriz de LEDs 8x8

La comunicación UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) es un protocolo serial asíncrono que permite el envío y recepción de datos entre dispositivos mediante una línea de transmisión (TX) y una de recepción (RX). Su funcionamiento se basa en la transmisión secuencial de bits, estructurados en tramas que incluyen bits de inicio, datos, paridad opcional y de parada, sin necesidad de un reloj compartido entre emisor y receptor.

Este tipo de comunicación es ampliamente utilizado en sistemas de microprocesamiento para la conexión entre microcontroladores y periféricos externos, como módulos Bluetooth, sensores o computadoras. Gracias a su simplicidad y fiabilidad, UART resulta ideal para aplicaciones de monitoreo, depuración y control remoto. En la Fig. 6 se presenta un esquema representativo de este protocolo.

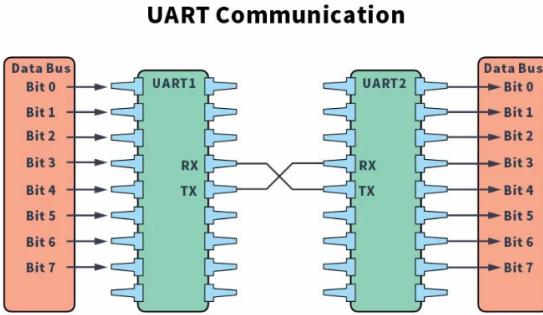


Figura 6: Esquema de comunicación UART

El conversor R-2R es un tipo de DAC (Digital-to-Analog Converter) que transforma valores digitales en señales analógicas utilizando únicamente resistencias con dos valores: R y $2R$. Su principio de funcionamiento se basa en una red en escalera (ladder network), donde la combinación de resistencias distribuye proporcionalmente la corriente o el voltaje de entrada, generando a la salida un valor analógico correspondiente al número binario aplicado.

Este método es ampliamente utilizado por su simplicidad y bajo costo, ya que requiere únicamente resistencias de valores precisos y estables. En aplicaciones de microprocesamiento, el DAC R-2R resulta especialmente útil para generar formas de onda, señales de control o audio a partir de datos digitales. En la Fig. 7 se muestra un diagrama esquemático del conversor R-2R.

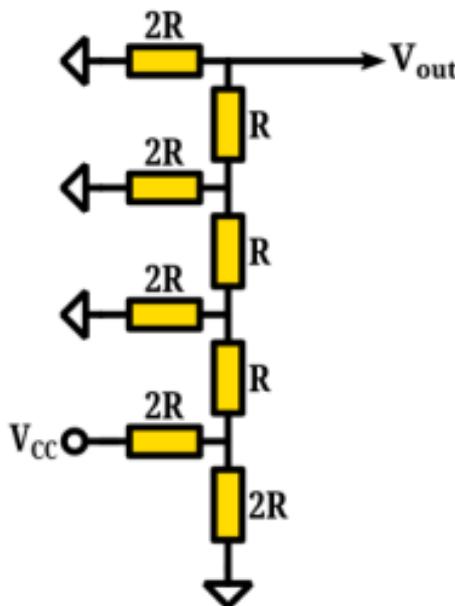


Figura 7: Conversor digital-analógico R-2R

Una LUT (Look-Up Table) o tabla de búsqueda es una estructura de datos utilizada para almacenar valores precal-

culados que pueden ser accedidos de manera rápida durante la ejecución de un programa. En el contexto de los sistemas de microprocesamiento, las LUT permiten optimizar el rendimiento al evitar cálculos complejos en tiempo real, sustituyéndolos por la lectura directa de un valor previamente definido.

En aplicaciones de generación de señales, una LUT puede contener las muestras discretizadas de una forma de onda (por ejemplo, senoidal, triangular o cuadrada), las cuales son enviadas secuencialmente a un conversor digital-analógico para obtener la señal analógica correspondiente. En la Fig. 8 se muestra un esquema representativo del funcionamiento de una LUT aplicada a un sistema digital.

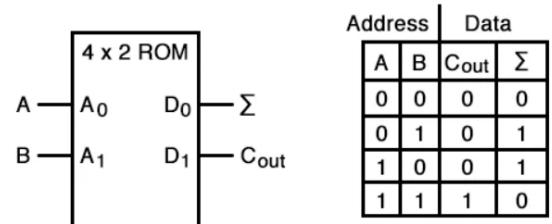


Figura 8: Esquema de una tabla de búsqueda LUT

Un PLC (Programmable Logic Controller) es un dispositivo electrónico de control digital utilizado en automatización industrial. Está diseñado para supervisar entradas provenientes de sensores, procesar lógicas de control programadas por el usuario y accionar salidas hacia actuadores como motores, válvulas o relés. Su arquitectura robusta y modular lo convierte en una herramienta confiable para operar en entornos industriales.

Los PLCs se programan mediante lenguajes estandarizados como Ladder, Diagramas de Bloques de Función o Texto Estructurado, definidos por la norma IEC 61131-3. Gracias a su versatilidad, son ampliamente empleados en sistemas de manufactura, control de procesos y aplicaciones mecatrónicas. En la Fig. 9 se muestra un ejemplo de un PLC típico utilizado en laboratorios de automatización.



Figura 9: Controlador Lógico Programable PLC

Un plotter es un dispositivo de impresión que, a diferencia de las impresoras convencionales, dibuja mediante el desplazamiento de un cabezal con pluma o un sistema de trazo lineal. Estos equipos permiten la representación precisa de gráficos, planos y figuras geométricas, por lo que son ampliamente utilizados en ingeniería, arquitectura y diseño.

En el ámbito académico y de laboratorio, los plotters pueden emplearse como sistemas de prueba para la programación y control de motores, integrando sensores y actuadores que permiten reproducir figuras en función de un programa predefinido. En la Fig. 10 se muestra un ejemplo de plotter utilizado en prácticas de mecatrónica y automatización.



Figura 10: Plotter de trazado monocromático

V. METODOLOGÍA

Para el desarrollo del laboratorio, se partió de la revisión de las hojas de datos y manuales de los dispositivos utilizados, en particular el microcontrolador ATmega328P, la matriz de LEDs 1088AS, la red resistiva R-2R y el kit mecánico de la punzonadora. Esta etapa inicial permitió identificar las características principales de cada componente, como rangos de alimentación, distribución de pines, modos de operación y criterios de conexión. Posteriormente, se realizaron las

configuraciones necesarias en hardware y software, integrando simulaciones previas en Proteus y validaciones experimentales en protoboard y equipos de laboratorio. De esta manera, se establecieron las bases para implementar las metodologías de diseño, programación y prueba que se describen a continuación.

VI. PARTE 1

VI-A. Montaje

El montaje de la punzadora comenzó con un inventario completo de los componentes y herramientas necesarios, asegurando que todas las piezas estuvieran disponibles y en buen estado antes de iniciar el ensamblaje. Posteriormente, se procedió al montaje físico siguiendo el instructivo proporcionado por Fischertechnik, el cual guía paso a paso la instalación de los actuadores, la estructura de soporte y los elementos de sujeción.

Se verificó la correcta colocación de los motores M1 y M2, así como de los sistemas de guía y soporte de la cinta y del punzador. Durante la instalación, se cuidó que las conexiones eléctricas estuvieran correctamente aisladas y que la alimentación de 5V para la lógica y 9–12V para los actuadores estuviera correctamente distribuida.

Una vez completado el ensamblaje mecánico, se realizaron pruebas preliminares de continuidad y conexión para asegurar que todos los actuadores y LEDs respondieran correctamente antes de proceder a la programación del ATmega328P. Esta fase permitió validar la integridad del sistema y garantizar que el montaje cumpliera con los criterios de seguridad y funcionalidad establecidos en el laboratorio.

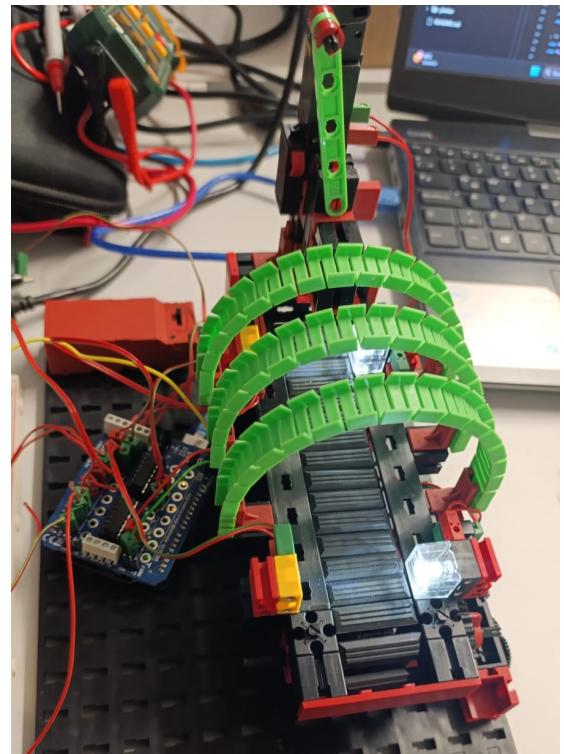


Figura 11: Montaje completo de la punzadora

VII. PARTE 2

VII-A. Problema A - Punzadora

Esta sección describe el procedimiento seguido para implementar y validar el sistema de *cinta + punzonadora* sobre un ATmega328P a 16 MHz, incluyendo la definición de entradas/salidas, el diseño de la máquina de estados finitos (FSM), la temporización por perfiles de carga, la comunicación USART para telemetría y los criterios de prueba.

El sistema se basa en un microcontrolador ATmega328P operando a 16 MHz, programado mediante Microchip Studio. La alimentación se distribuye en 5 V para la lógica y 9–12 V para los actuadores, compartiendo GND común. Los actuadores principales son M1, el motor de la cinta, y M2, el motor punzador. La interfaz HMI incluye selección de perfil mediante USART (Ligera, Media y Pesada) y LEDs indicadores de estado. La comunicación USART se realiza a 9600 bps (8N1) y permite telemetría y envío de comandos (A, 1/2/3).

Pin/Senal	Componente	Acción
M1	Motor de la cinta	Activar cinta
M2	Punzador	Activar punzador
LED_WAIT	LED indicador	Estado de espera
LED_RUN	LED indicador	En ciclo
LED_END	LED indicador	Fin de ciclo
LED_LIG	LED indicador	Perfil Ligero
LED_MED	LED indicador	Perfil Medio
LED_PES	LED indicador	Perfil Pesado
USART TX/RX	Comunicación I/O	Comunicación 9600 bps

Tabla I: Asignación de pines y funciones de la punzadora

La temporización de los actuadores se ajustó según el perfil seleccionado. Para la alimentación de la cinta, los tiempos fueron: Ligera 3 s, Media 4 s y Pesada 5 s. Para el punzón, la secuencia consistió en bajar 1 s, mantener según el perfil (2, 3 o 4 s) y luego subir 1 s. La descarga se mantuvo 3, 4 y 5 s respectivamente para cada perfil.

El sistema se implementó mediante una FSM que recorrió los estados: EN ESPERA, ALIMENTACIÓN, POSICIONADO, PUNZONADO, DESCARGA y FIN DE CICLO, retornando posteriormente a EN ESPERA.

En EN ESPERA, el sistema permanecía inactivo con LED_WAIT encendido, a la espera del comando de inicio (A). En ALIMENTACIÓN, se activaba M1 para trasladar la pieza en la cinta durante el tiempo definido por el perfil seleccionado. Una vez cumplido, se pasaba al estado de POSICIONADO, donde la pieza quedaba lista bajo el punzón.

En el estado de PUNZONADO, se ejecutaba la secuencia de M2: bajar–mantener–subir, de acuerdo con la duración establecida para el perfil (Ligera, Media o Pesada). Posteriormente, el sistema avanzaba a DESCARGA, activando nuevamente M1 en sentido inverso para retirar la pieza ya trabajada. Finalmente, en FIN DE CICLO, LED_END se encendía y se enviaba un mensaje de telemetría vía USART, tras lo cual el sistema regresaba a EN ESPERA para un nuevo ciclo.

La telemetría USART transmitía, en cada transición, un mensaje del tipo ESTADO=>>

PERFIL=<LIG | MED | PES>, mientras que los comandos disponibles eran A (iniciar), 1/2/3 (selección de perfil).

El procedimiento de implementación incluyó la conexión de M1 y M2 al microcontrolador, la configuración de GPIO para salidas y USART a 9600 bps, la calibración de retardos y anti-rebote, la programación de la FSM mediante variables estado y perfil, y la implementación de la mensajería USART para trazas de ESTADO, PERFIL, M1 y M2. La validación se realizó comprobando la ejecución completa del ciclo y la coherencia de la telemetría, asegurando que los LEDs reflejaran correctamente el estado y perfil en todo momento.

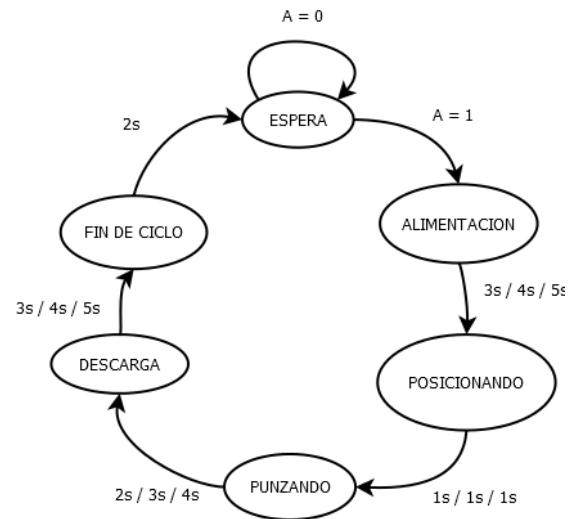


Figura 12: Maquina de estados de la cinta con punzadora

VII-B. Problema B – Matriz 8x8 mediante UART

En esta etapa se desarrolló un sistema de control para la matriz de LEDs 8x8, cuyo objetivo fue mostrar un mensaje de más de 12 caracteres desplazándose verticalmente de arriba hacia abajo de forma continua y legible. La velocidad de desplazamiento se reguló mediante la temporización interna del ATmega328P, ajustando el retardo entre actualizaciones de las columnas para lograr un desplazamiento fluido y estable.

El programa se implementó en ensamblador AVR, utilizando interrupciones del temporizador para la actualización del desplazamiento y la interrupción UART para la recepción de comandos. Al iniciar, el sistema envía automáticamente un menú y permite al usuario seleccionar entre la visualización del mensaje desplazable o distintas opciones de presentación definidas en el código (Cara feliz, Cara triste, Corazón, Rombo o Alien).

De esta manera, se consiguió un control sencillo y flexible, asegurando que el contenido mostrado en la matriz pueda modificarse fácilmente mediante la comunicación serie a 9600 bps.

VII-C. Problema C - DAC mediante LUT

La metodología seguida para la implementación del convertidor digital a analógico (DAC) mediante la red de resistores R2R se estructuró en varias fases. En primer lugar, se diseñó el

circuito utilizando una tabla de búsqueda (LUT) para mapear las entradas digitales a salidas analógicas correspondientes. La tabla LUT define las combinaciones binarias que se aplican a las entradas del DAC, permitiendo convertir señales digitales en una salida analógica proporcional.

En cuanto a la parte de la red R2R, se optó por un diseño que utiliza una configuración de resistores en una estructura escalonada, donde cada resistor tiene un valor equivalente o múltiplo en función de su ubicación en la red. La implementación de la red de resistores R2R permite que, a partir de una señal digital de n bits, se genere una señal analógica en el rango de 0 a V_{ref} .

La señal proporcionada para la prueba de conversión fue la señal número 3, la cual fue aplicada al circuito para verificar que la conversión digital-analógica funcionara correctamente.

El circuito fue diseñado y simulado utilizando Proteus, donde se conectaron los componentes de la red R2R y la tabla de búsqueda. La simulación permitió verificar el funcionamiento del sistema antes de proceder al montaje físico.

En la fase de implementación física, se conectaron los componentes de la red R2R en un protoboard, siguiendo los esquemas de la simulación. Posteriormente, se midieron las salidas analógicas utilizando un multímetro y un osciloscopio para verificar que la señal digital se convertía correctamente en una señal analógica, tal como se había observado en la simulación.

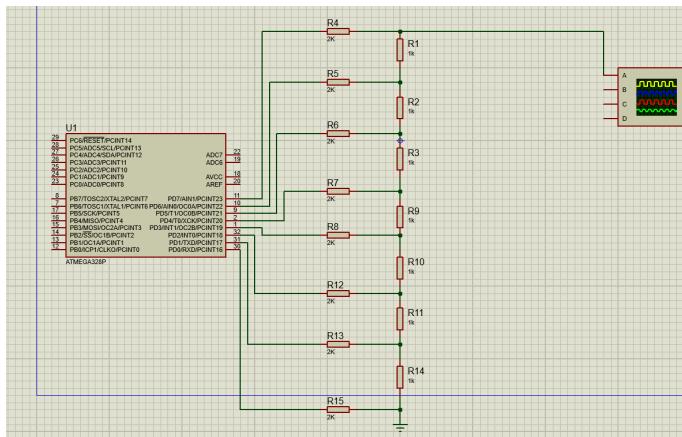


Figura 13: Simulación del circuito DAC en Proteus

VII-D. Problema D - Plotter

Para la implementación del plotter se basó principalmente en la programación del Arduino conectado al PLC, ya que la infraestructura mecánica y eléctrica del sistema ya estaba previamente montada y lista para su uso como se puede observar en la Fig. 14. El objetivo fue desarrollar un programa que permitiera controlar los movimientos del plotter y dibujar diferentes figuras geométricas a partir de comandos enviados por el usuario a través del puerto serial.



Figura 14: Plotter del Lab de Mecatrónica

En primer lugar, se definió la tabla de pines del Arduino y la función de cada uno de ellos, indicando cuál controlaba el motor vertical (arriba/abajo), el motor horizontal (derecha/izquierda) y la activación del solenoide de la lamicera (subir/bajar). La tabla utilizada fue la siguiente:

Pin	Componente	Acción
D2	Solenoide	Bajar lamicera
D3	Solenoide	Subir lamicera
D4	Motor Vertical (eje Y)	Mover hacia abajo
D5	Motor vertical (eje Y)	Mover hacia arriba
D6	Motor Horizontal (eje X)	Mover hacia la derecha
D7	Motor Horizontal (eje X)	Mover hacia la izquierda

Tabla II: Asignación de pines y acciones del plóter

Posteriormente, se planificó la ejecución de cada figura geométrica a dibujar:

- **Triángulo:** Se baja el solenoide (lamicera) al inicio, luego se desciende verticalmente, se mueve a la izquierda y finalmente se activa simultáneamente el motor vertical y horizontal para completar la diagonal, formando así el triángulo completo.
- **Cruz:** Para dibujar la cruz, primero se realiza una diagonal hacia arriba-derecha con la lamicera bajada. Luego se levanta el solenoide, se mueve a la izquierda, se baja nuevamente la lamicera y se dibuja la diagonal hacia abajo-derecha, completando la figura.
- **Círculo:** Debido a su curvatura, se dividió en múltiples pasos escalonados para aproximar la forma circular. Se controlaron los motores horizontal y vertical alternando pequeños incrementos para simular la trayectoria curva.

Finalmente, se implementó un menú a través del puerto serial que permitía al usuario seleccionar la figura a dibujar. Las opciones del menú eran: **1** para triángulo, **2** para círculo, **3** para cruz, y **T** para dibujar todas las figuras secuencialmente. Cada opción correspondía a una rutina específica que ejecutaba la secuencia de movimientos programada para la figura

correspondiente, asegurando que el plotter dibujara de manera ordenada.

VIII. RESULTADOS

VIII-A. Punzadora

Se validó el funcionamiento del sistema de *cinta + punzonadora* ejecutando ciclos completos en los tres perfiles disponibles: Ligero, Medio y Pesado. En todos los casos, se confirmó que la secuencia de estados definida en la FSM se cumplía correctamente: EN ESPERA → ALIMENTACIÓN → POSICIONADO → PUNZONADO → DESCARGA → FIN DE CICLO → EN ESPERA. La indicación del estado actual se realizó mediante LEDs y telemetría USART, permitiendo observar en tiempo real el progreso del ciclo.

Durante los ensayos funcionales, se verificaron los siguientes aspectos clave:

- Activación de M1 durante la fase de ALIMENTACIÓN, detención en POSICIONADO, ejecución de la secuencia del punzador (M2: bajar-mantener-subir) en PUNZONADO y movimiento de la cinta en DESCARGA.
- Comutación de LEDs: LED_WAIT durante EN ESPERA, LED_RUN mientras el ciclo estaba en ejecución y LED_END al finalizar el ciclo (FIN DE CICLO).
- Recepción y ejecución de comandos por USART (A para iniciar, 1/2/3 para seleccionar perfil) y envío de reportes en cada transición, reportando estado y perfil.

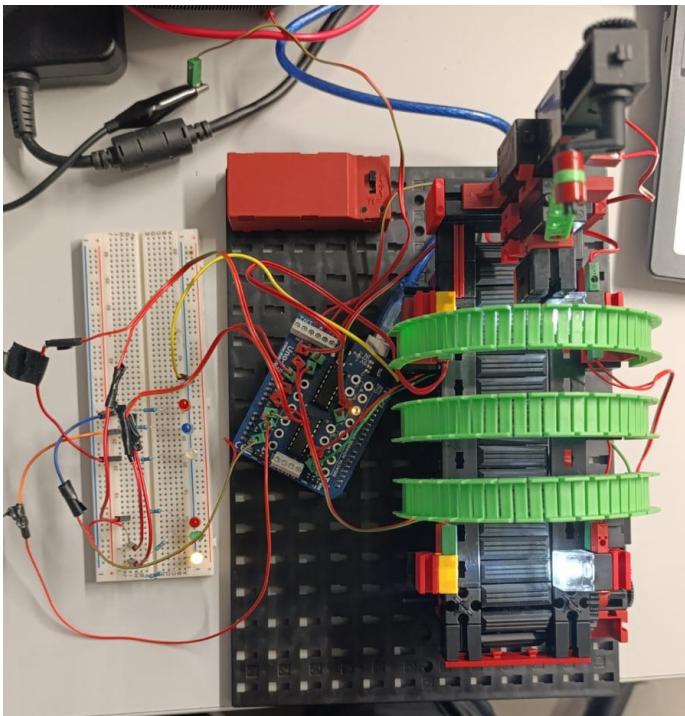


Figura 15: Punzadora en funcionamiento mostrando los LEDs indicadores

VIII-B. Matriz 8x8 usando UART

Los resultados confirmaron que tanto la secuencia de actuación de los motores como la señalización mediante LEDs y la comunicación UART funcionaron de manera coherente y confiable para los tres perfiles de carga, validando la correcta implementación del sistema.

El sistema implementado funcionó de acuerdo a lo esperado. El mensaje se desplazó de manera continua y legible, y la comunicación por UART permitió seleccionar correctamente entre el mensaje principal y las diferentes figuras predefinidas. Todas las pruebas en simulación y en protoboard confirmaron el comportamiento previsto.

A continuación se muestran capturas de las distintas salidas de la matriz de LEDs:

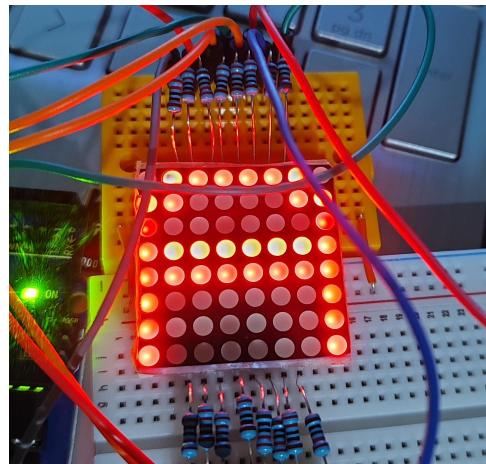


Figura 16: Primera letra de la frase en la matriz

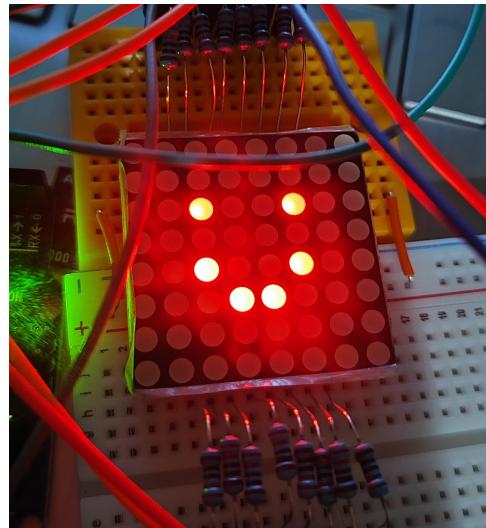


Figura 17: Carita sonriente en la matriz

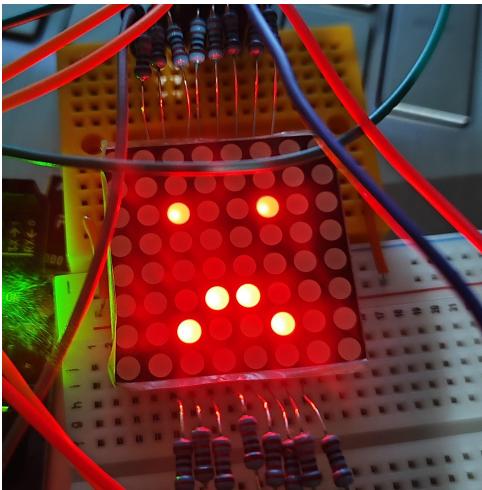


Figura 18: Carita triste en la matriz

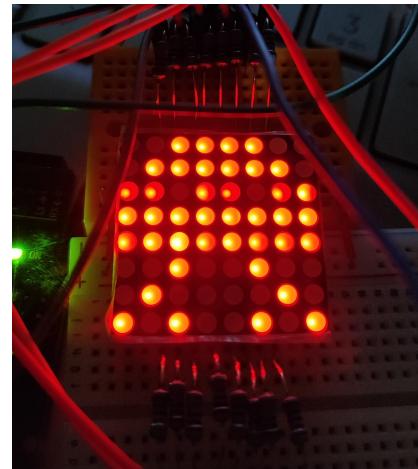


Figura 21: Alien en la matriz

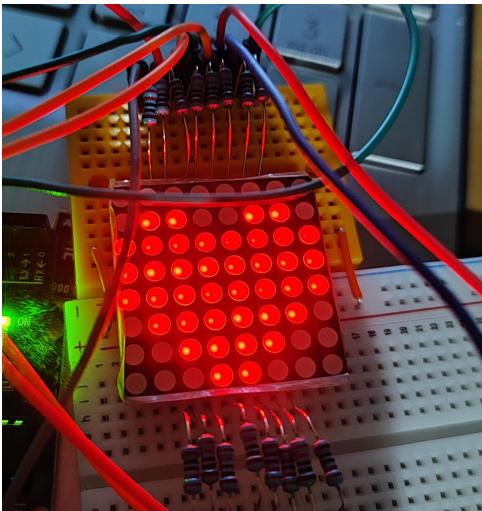


Figura 19: Corazón en la matriz

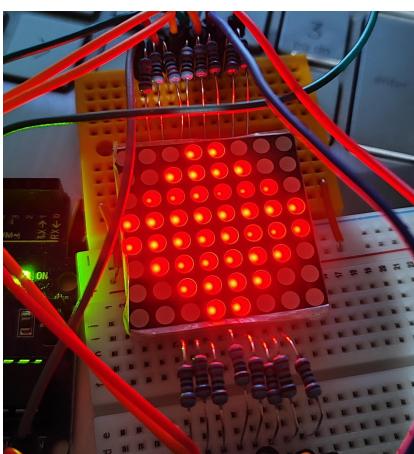


Figura 20: Rombo en la matriz

VIII-C. DAC mediante LUT

La implementación del convertidor digital a analógico (DAC) mediante la red de resistores R2R fue evaluada exitosamente tanto en simulación como en montaje físico sobre protoboard. La simulación en Proteus permitió verificar el funcionamiento correcto del circuito, observando que la señal de salida analógica se generaba adecuadamente en función de la entrada digital, tal como estaba previsto en el diseño.

El montaje físico del circuito en protoboard también confirmó plenamente los resultados obtenidos en la simulación. Al conectar la red R2R y aplicar la señal número 3 como entrada digital, se observó que la salida analógica generada era consistente con los valores simulados. La medición de la señal en el osciloscopio permitió validar que la conversión de digital a analógico se realizó con precisión, reproduciendo fielmente la señal esperada.

En la Fig. 22 se muestra el montaje físico del circuito en protoboard, y en la Fig. 23 se presenta la señal observada en el simulador de osciloscopio, la cual tiene un comportamiento escalonado típico de este tipo de circuito. La señal muestra un patrón de rampa ascendente, lo cual es característico en los DACs basados en red R2R, donde cada paso de la rampa corresponde a un cambio en el valor binario de la entrada digital.

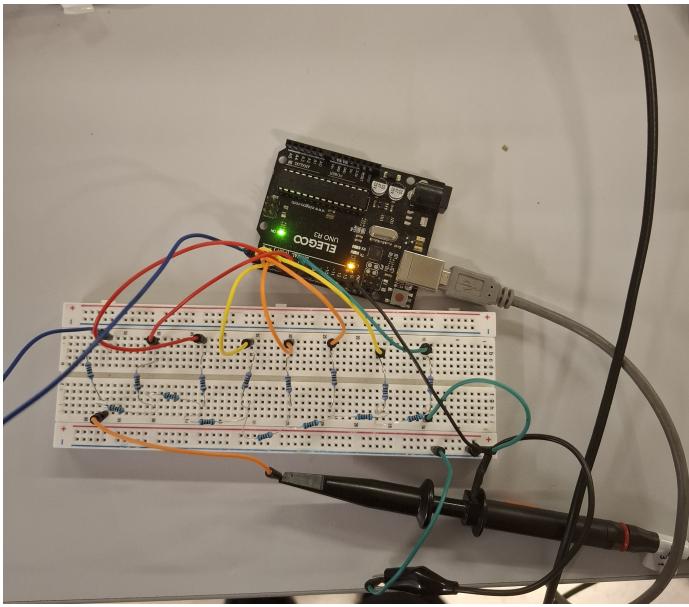


Figura 22: Montaje físico del DAC en protoboard

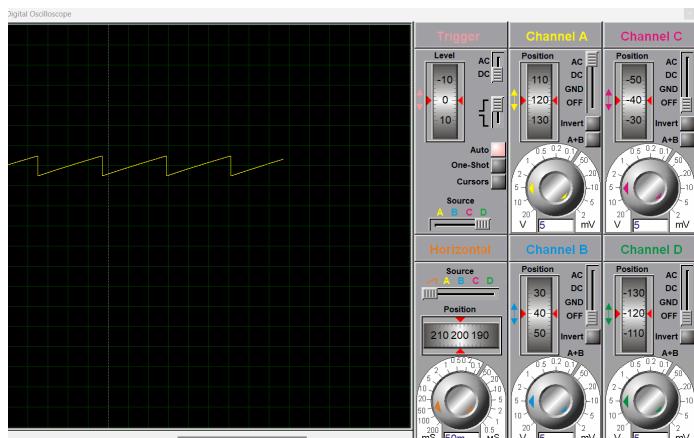


Figura 23: Señal observada en el osciloscopio del simulador, mostrando el comportamiento escalonado

En la práctica, el comportamiento observado en el osciloscopio fue similar al de la simulación. Se capturaron varias imágenes que muestran la señal de salida en diferentes momentos. A continuación, en la Fig. 24, se muestra una de las mediciones realizadas, donde se puede observar la forma de rampa de la señal en la salida analógica.



Figura 24: Señal observada en el osciloscopio

Además, en la Fig. 25 y Fig. 26, se observan más detalles de la salida del DAC, como el patrón escalonado típico en el circuito R2R, lo que valida el funcionamiento del diseño tanto en simulación como en la práctica.



Figura 25: Captura del osciloscopio con zoom

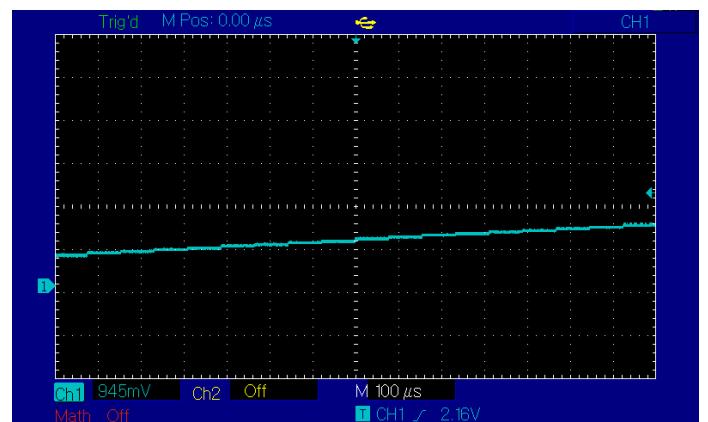


Figura 26: Captura del escalonado

VIII-D. Plotter

La implementación del plotter permitió ejecutar correctamente todas las figuras programadas a través del menú serial. Cada rutina desarrollada para el triángulo, el círculo y la cruz se llevó a cabo según la secuencia de movimientos definida en la metodología, y las figuras fueron dibujadas de manera ordenada sobre la hoja A4.

Durante la prueba del círculo se observó que el patrón escalonado generado por los pasos discretos de los motores afectaba la suavidad de la curva. Para mejorar la resolución y disminuir el efecto escalonado, se decidió reducir el tamaño del círculo, lo que permitió obtener una forma más continua y visualmente más aproximada a una circunferencia.

En la Fig. 27, se muestra la hoja A4 con todas las figuras dibujadas: el triángulo, la cruz y el círculo, evidenciando el correcto funcionamiento del sistema y la precisión de los movimientos programados del plóter.

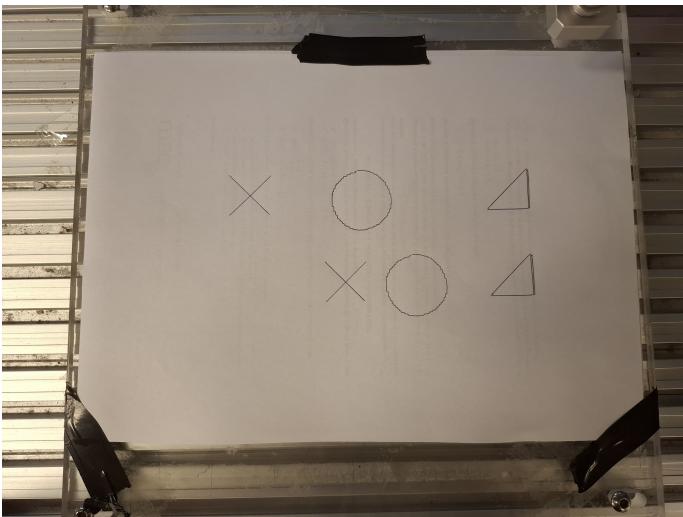


Figura 27: Hoja A4 con todas las figuras dibujadas por el plotter

IX. CONCLUSIÓN

El laboratorio permitió comprobar de manera práctica el diseño y la implementación de diferentes sistemas digitales utilizando el microcontrolador ATmega328P. Cada una de las experiencias abordadas integró conceptos de lógica secuencial, comunicación serial y manejo de periféricos, los cuales se trasladaron desde la etapa de simulación hasta la validación en prototipos físicos.

El control de la punzonadora con cinta transportadora evidenció la utilidad de las máquinas de estados finitos para gestionar procesos cíclicos con distintos perfiles de operación, apoyados en la señalización mediante LEDs y telemetría USART. La matriz de LEDs 8x8 mostró la capacidad de generar mensajes desplazables y figuras predefinidas de forma continua, integrando interrupciones de temporizador y comunicación UART para asegurar un control flexible y sencillo. El conversor digital-analógico R-2R implementado con LUT

demonstró la generación de señales analógicas escalonadas de manera coherente tanto en simulación como en montaje, reforzando el valor de técnicas simples y económicas en la conversión digital-analógica. Finalmente, el plotter confirmó la integración entre software y hardware, posibilitando la ejecución de figuras geométricas mediante secuencias preprogramadas y controladas a través de un menú serial.

En conjunto, todas estas instancias favorecieron la comprensión de los principios de microprocesamiento aplicados a la automatización y al control digital, fortaleciendo una metodología de trabajo que articula diseño lógico, programación en ensamblador y validación experimental con un enfoque claro hacia la resolución práctica de problemas.

X. BIBLIOGRAFÍA

REFERENCIAS

- [1] Microchip Technology. *ATmega328P 8-bit AVR Microcontroller Datasheet*. Disponible en: <https://www.microchip.com/en-us/product/ATmega328P>
- [2] Fischertechnik. *Teaching and Training Models – Automation with Conveyor and Punch*. Disponible en: <https://www.fischertechnik.de/en/products/education>
- [3] Avago Technologies. *1088AS 8x8 LED Matrix Display Datasheet*. Disponible en: <https://datasheetspdf.com/pdf/1088AS>
- [4] Texas Instruments. *Understanding R-2R Digital-to-Analog Converter Networks*. Application Report. Disponible en: <https://www.ti.com/lit/an/sbaa170/sbaa170.pdf>
- [5] Labcenter Electronics. *Proteus Design Suite – Simulation Software*. Disponible en: <https://www.labcenter.com/>
- [6] Microchip Technology. *AVR Assembler User Guide*. Disponible en: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/Appnotes/Atmel-0856-AVR-Assembler-User-Guide.pdf>
- [7] Floyd, T. L. (2013). *Digital Fundamentals* (11th ed.). Boston: Pearson.
- [8] Mano, M. M., & Ciletti, M. D. (2017). *Digital Design* (6th ed.). Boston: Pearson.
- [9] Tocci, R. J., Widmer, N. S., & Moss, G. L. (2011). *Sistemas digitales: principios y aplicaciones* (11^a ed.). México: Pearson Educación.
- [10] Wakerly, J. F. (2006). *Diseño digital: principios y prácticas* (4^a ed.). México: Pearson Educación.

ENLACE AL REPOSITORIO

<https://github.com/Hiato27/Tec.Micro>