

# Fase 2: Selección de materiales y componentes

**Integrantes:**

Benjamín Cuello

Benjamín Salas

**Fecha:** 10/10/2025

# Índice

<b>Índice.....</b>	<b>1</b>
<b>Introducción.....</b>	<b>2</b>
<b>Selección de materiales y componentes.....</b>	<b>3</b>
La Cinta.....	3
Símbolos.....	4
Cabezal.....	4
Sistema de movimiento.....	5
Sistema de lectura y escritura.....	5
Controlador.....	6
<b>Diseño del sistema físico.....</b>	<b>7</b>
<b>Justificación de la selección de materiales.....</b>	<b>9</b>
<b>Funcionamiento general esperado.....</b>	<b>10</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>11</b>

## **Introducción**

Desde la conceptualización teórica de la Máquina de Turing desarrollada en la fase anterior, se plantea avanzar hacia la definición práctica del sistema físico. En esta segunda fase, el objetivo principal es definir los materiales y componentes que harán posible construir una versión física de la máquina, capaz de ejecutar operaciones básicas como suma y resta en unario.

En esta etapa se analizan las partes más importantes del sistema: la cinta, el cabezal, el mecanismo de movimiento, el sistema de lectura y escritura, y el controlador que se encargará de aplicar la lógica del autómata. Con todos estos elementos se plantea un diseño general del prototipo, donde se explica cómo se conectan y funcionan entre sí para representar físicamente las reglas de transición vistas en la fase teórica.

## **Selección de materiales y componentes**

La elección de cada elemento se hizo considerando su función dentro del sistema, la disponibilidad, el costo y la facilidad para integrarlo en el montaje.

La idea es representar de forma tangible los elementos teóricos del modelo, la cinta, el cabezal, el sistema de movimiento, la lectura/escritura y el controlador, de manera que el comportamiento del prototipo sea lo más parecido posible al funcionamiento de una máquina de Turing real.

## La Cinta

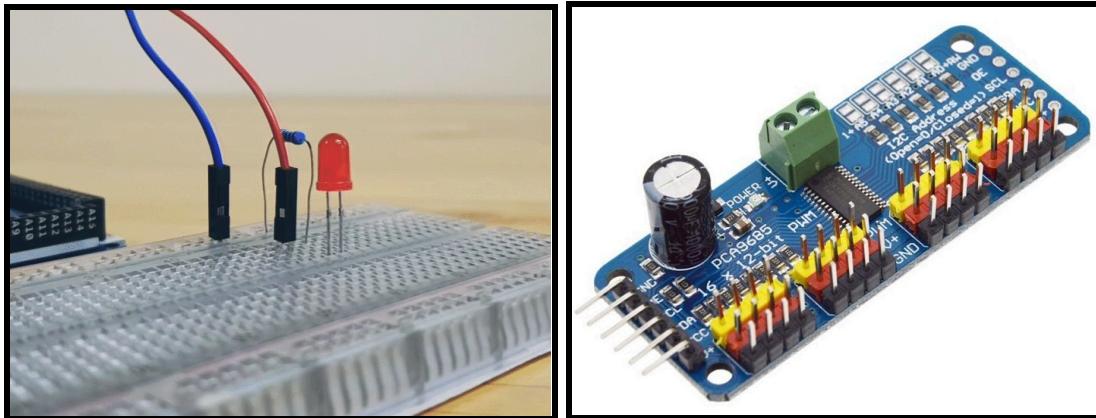
En nuestro diseño, la cinta de la máquina de Turing estará formada por 20 LEDs independientes, cada uno representando una celda distinta. Estos LEDs estarán conectados de forma individual al Arduino Uno mediante un módulo PCA9685, el cual permite ampliar la cantidad de salidas disponibles en la placa y así controlar un número mayor de LEDs de manera simultánea.

Cada LED funcionará como una celda de la cinta y su estado reflejará el símbolo almacenado:

- LED encendido (1): representa el símbolo “1”.
- LED apagado (—): representa el símbolo en blanco.

La conexión se realizará sobre una protoboard, donde además se incluirán las resistencias correspondientes (entre  $220\ \Omega$  y  $330\ \Omega$ ) para proteger cada LED.

Se decidió utilizar 20 LEDs para disponer de una cinta suficientemente larga que permita representar entradas y resultados de las operaciones de suma y resta en unario, considerando un máximo de  $9 + 9$  o  $9 - 9$ .



## Símbolos

Los símbolos que maneja la máquina de Turing son dos: el uno (1) y el blanco (—).

En esta implementación, dichos símbolos estarán representados visualmente mediante el estado de cada LED:

- LED encendido: representa el símbolo “1”.
- LED apagado: representa el símbolo “\_” o celda en blanco.

Esta forma de representación fue seleccionada por su claridad visual y simplicidad, ya que permite identificar de inmediato el contenido de la cinta y observar los cambios que realiza el sistema durante la ejecución de una operación.

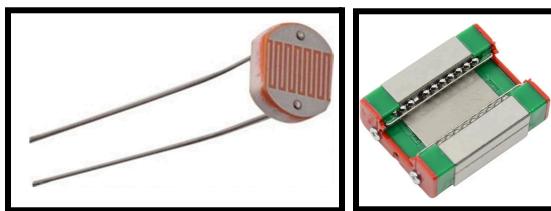


### Cabezal

El cabezal será un carro móvil que se desplazará a lo largo del riel, posándose sobre cada LED. Este carro contendrá un sensor LDR (fotorresistor), que permitirá “leer” el estado de la celda actual midiendo la luz emitida por el LED:

- Si el LED está encendido, el sensor detecta un valor alto (símbolo 1).
- Si el LED está apagado, el sensor detecta un valor bajo (símbolo \_).

El cabezal también estará conectado al Arduino, que será el encargado de encender o apagar el LED correspondiente, cumpliendo así la función de “escritura”. La estructura se montará sobre un riel lineal MGN12.

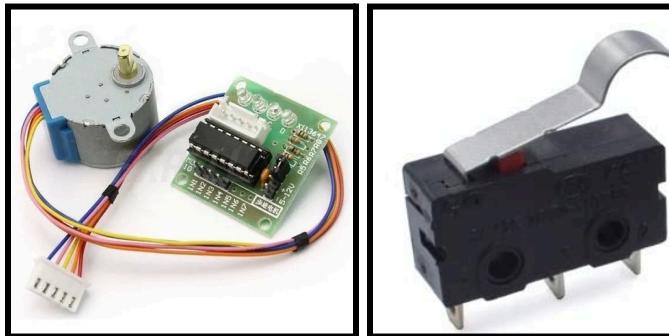


### Sistema de movimiento

El movimiento del cabezal se realizará mediante un motor paso a paso 28BYJ-48, controlado por el driver ULN2003. Este conjunto permite desplazar el cabezal con precisión celda por celda, imitando el movimiento de lectura y escritura de una máquina de Turing.

El motor estará conectado al carro del riel lineal mediante un hilo de nylon tenso, el cual transmitirá el movimiento de rotación del eje del motor hacia un desplazamiento lineal del carro sobre el riel.

Para evitar que el cabezal se desplace fuera de los límites, se incluirán dos interruptores de fin de carrera (limit switches) ubicados en los extremos del riel. Estos servirán como puntos de referencia, permitiendo que el sistema detecte cuándo debe detenerse o volver a la posición inicial antes de iniciar una nueva ejecución.

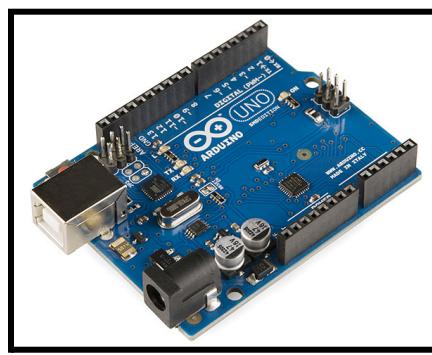


### Sistema de lectura y escritura

La lectura y escritura de la cinta se controlará completamente desde el Arduino Uno:

- El sensor LDR conectado al cabezal permitirá leer el valor de la celda actual.
- El Arduino procesará esa lectura según el estado actual y la función de transición.
- Finalmente, encenderá o apagará el LED correspondiente para escribir el nuevo valor.

Este sistema electrónico reemplaza las acciones mecánicas tradicionales de una máquina de Turing, manteniendo la lógica original pero adaptada a una versión digital y a los materiales disponibles.



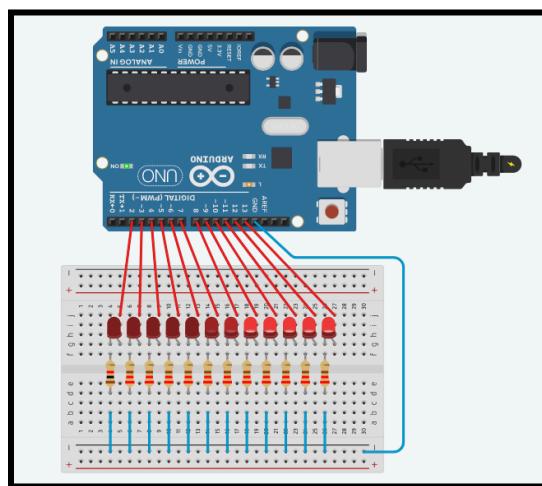
### Controlador

El Arduino Uno será el cerebro del sistema. Su función no es realizar la operación de forma directa, sino interpretar la tabla de estados definida en la Fase 1.

De esta forma, el Arduino actúa como el controlador lógico:

1. Lee el símbolo actual mediante el sensor.
2. Consulta la regla ó correspondiente al par (estado, símbolo).
3. Ejecuta la acción indicada (escribir, mover el cabezal, cambiar de estado).

Además, se incluirán botones o interruptores para controlar manualmente la máquina: avanzar un paso, reiniciar o seleccionar el modo (suma o resta). También se agregarán LEDs indicadores que mostrarán el estado actual del autómata ( $q_0$ ,  $q_1$ ,  $q_2$ , etc.), permitiendo visualizar el proceso interno de la máquina durante su ejecución.



## Diseño del sistema físico

El diseño físico del prototipo se realizó considerando una distribución ordenada y funcional de los componentes sobre una base de 300 mm × 200 mm, con el objetivo de optimizar el espacio y mantener las conexiones eléctricas limpias y accesibles.

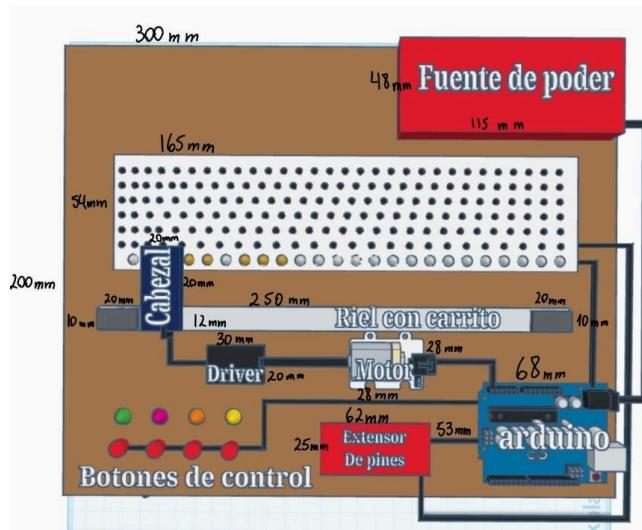
En la parte superior central se ubica la protoboard, donde se montan los 20 LEDs que representan la cinta de la máquina. Cada LED cuenta con su resistencia de 220–330 Ω y está conectado al extensor de pines PCA9685, que se encarga de ampliar las salidas del Arduino Uno para controlar todos los LEDs de forma independiente.

Justo debajo de la protoboard se encuentra el riel lineal MGN12, sobre el cual se desplaza el cabezal. Este carro contiene un sensor LDR que detecta si el LED activo está encendido o apagado. El motor paso a paso 28BYJ-48, junto con el driver ULN2003, se ubican en el extremo izquierdo del riel, y están conectados mediante un hilo de nylon tenso, que transforma el movimiento rotacional del motor en desplazamiento lineal del cabezal sobre el riel.

En el extremo inferior se encuentran los botones de control manual, usados para realizar acciones como avanzar un paso, reiniciar o seleccionar el modo de operación (suma o resta). Sobre esta misma zona se ubican también los LEDs indicadores de estado (q0, q1, q2, etc.), que permiten observar el estado actual del autómata durante la ejecución.

A la derecha de la base se encuentra el Arduino Uno, conectado al PCA9685, al driver ULN2003 y a la fuente de poder externa de 5 V, la cual se ubica en la esquina superior derecha. Este diseño asegura que los cables de alimentación y señales estén organizados y que el montaje sea estable.

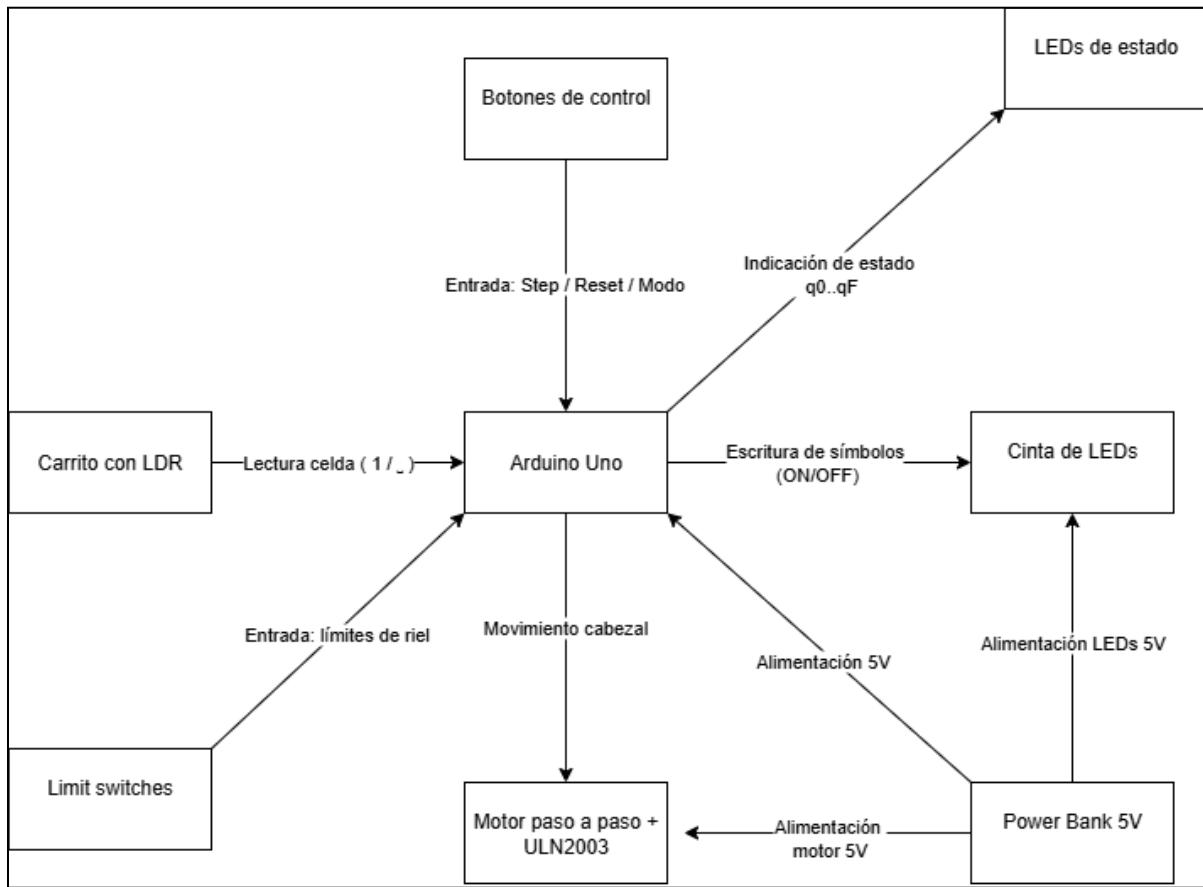
Finalmente, en los extremos del riel lineal se instalan dos interruptores de fin de carrera (limit switches), que sirven como topes de referencia para el movimiento del cabezal. Estos permiten definir el punto de inicio y el final del recorrido, evitando desplazamientos fuera del rango de la cinta.



[Link a Tinkercad](#)

## Diagrama de bloques

Este diagrama, muestra el prototipo de como se espera que funcione nuestra propuesta de máquina de Turing.



## Justificación de la selección de materiales

La selección de los materiales y componentes utilizados en el diseño se basó en criterios de funcionalidad, disponibilidad, bajo costo y facilidad de integración con el sistema de control. Cada elemento cumple una función específica dentro del prototipo y fue elegido buscando mantener la coherencia con los principios de funcionamiento de una Máquina de Turing real.

El Arduino Uno se eligió como controlador principal debido a su simplicidad, compatibilidad y debido a los conocimientos previos ya adquiridos a cómo utilizar este, lo que permite implementar la lógica de estados sin requerir hardware adicional complejo.

El módulo PCA9685 fue decidido para ampliar la cantidad de salidas digitales del Arduino y así controlar los 20 LEDs que conforman la cinta.

Los LEDs fueron seleccionados como representación visual de los símbolos de la cinta por su claridad, bajo consumo energético y respuesta inmediata, permitiendo observar en tiempo real los cambios de lectura y escritura.

El motor paso a paso 28BYJ-48, junto con el driver ULN2003, proporciona un movimiento preciso y controlado, ideal para el desplazamiento celda a celda del cabezal. El uso de un hilo de nylon tenso para transmitir el movimiento del motor al carro del riel se justifica por su simplicidad mecánica, bajo costo y facilidad de montaje.

El riel lineal MGN12 fue elegido por ofrecer un movimiento estable y con baja fricción, permitiendo que el cabezal mantenga una posición exacta sobre cada LED. Además, los limit switches se incorporaron como medida de seguridad y referencia, evitando desplazamientos fuera del rango de operación.

Finalmente, el uso de botones de control manual y LEDs indicadores de estado, facilita la observación de cada paso de la máquina durante su ejecución.

En conjunto, todos estos componentes conforman un diseño económico, capaz de representar o imitar el comportamiento de una Máquina de Turing mediante una combinación de electrónica, mecánica y control lógico.

## **Funcionamiento general esperado**

Al iniciar, el sistema realizará una calibración inicial, desplazando el cabezal hacia uno de los extremos del riel hasta accionar el interruptor de fin de carrera. Esa posición se toma como el punto de inicio de la cinta.

Una vez calibrado, el Arduino Uno interpretará la tabla de estados definida en la Fase 1. El cabezal se posiciona sobre una celda y el sensor LDR detecta si el LED correspondiente está encendido o apagado. Con esa información, el controlador determina qué acción realizar según la función de transición  $\delta$ :

- Escribir: encender o apagar el LED actual.
- Mover: activar el motor paso a paso para desplazar el cabezal de una celda a la izquierda o derecha.
- Cambiar de estado: encender el LED indicador correspondiente ( $q_0, q_1, q_2\dots$ ).

Este ciclo se repite de forma secuencial hasta completar la operación seleccionada (suma o resta). En este caso, la protoboard con los LEDs permiten visualizar de manera clara el contenido de la cinta y seguir el paso lógico que ejecuta la máquina.

En la suma, los bloques de “1” se combinan hasta formar una sola secuencia. En la resta, los “1” del segundo operando se van eliminando junto con los del primero hasta obtener el resultado. Si B es mayor que A, el sistema apaga todos los LEDs, representando el resultado cero.

Finalmente, el prototipo puede reiniciarse mediante el botón Reset, devolviendo el cabezal a su posición inicial y apagando la cinta para preparar una nueva operación.

## **Bibliografía**

- Sipser, M. (2013). *Introduction to the theory of computation* (3rd ed., pp. 136–138). Cengage Learning.
- Rosen, K. H. (2012). *Discrete mathematics and its applications* (7th ed., pp. 888–890). McGraw-Hill.
- Vilca Gutiérrez, C. F. (2016). *Máquinas de Turing y sus aplicaciones*. Revista Boliviana de Informática, 9(1), 27–39.
- Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE). (s.f.). *Capítulo 8. Introducción a las Máquinas de Turing*. Curso Propedéutico de Ciencias Computacionales.
- Psicología y Mente. (s.f.). *La máquina de Turing: qué es y cómo funciona*. Psicología y Mente.
- Salavatipour, M. R., & Friggstad, Z. (2019). *Complexity theory lecture notes: Lecture 1 — Introduction and Turing machines* (pp. 1-2). Department of Computing Science, University of Alberta.