

**UNIÓN DE ASOCIACIONES DE INGENIEROS
TÉCNICOS INDUSTRIALES Y GRADUADOS EN
INGENIERÍA DE LA RAMA INDUSTRIAL DE ESPAÑA
(UAITIE)**

“CONVOCATORIA 2026”

**XI PREMIO NACIONAL DE INICIACIÓN A LA INVESTIGACIÓN
TECNOLÓGICA**

Título del Trabajo:

**PROCESADOR DE 1 BIT
COMO HERRAMIENTA EDUCATIVA**

AUTORES:

**Mario Rodríguez Alonso
Víctor Cano Martín
Fernando José Jiménez Vegas**

BLOQUE TEMÁTICO:

Electrónica

NIVEL EDUCATIVO:

Ciclo Formativo de Grado Superior

COORDINADOR:

Julián Díez González

Febrero 2026

Resumen

El presente proyecto, realizado por alumnos de 1^{er} curso del CFGS de Mantenimiento Electrónico, consiste en la implementación de un procesador de 1 bit desde su origen, basado en la arquitectura de Von Neumann. El procesador está fabricado íntegramente con componentes electrónicos sencillos, sobre placas *protoboard* para realizar montajes electrónicos, y el cableado necesario.

A partir de un diseño previo con un simulador de electrónica digital, el procesador trabaja con 1 bit, no obstante, cuenta con 2 bit de entrada y 16 operaciones aritmético-lógicas, además de 8 registros de salida que pueden almacenar un 1 o un 0, de modo que se puedan conectar a componentes digitales para su encendido y/o apagado.

El fin de este proyecto es innovador, pero también educativo, de modo que cualquier usuario, y, específicamente, alumnos de electrónica, o incluso de bachillerato o secundaria, puedan ver cómo es un procesador por dentro y cómo es su proceso de funcionamiento, a través de instrucciones en código binario, desde que recibe dicha instrucción hasta que la ejecuta y almacena sus resultados.

El procesador consta de una ALU (Unidad Aritmético-Lógica), la Unidad de Control (manejada por el usuario), y los registros de memoria, entre los que se incluyen el contador de programa (PC) y el registro de instrucción (RI). Todo ello está realizado con circuitos integrados (CI) básicos, como puertas lógicas, biestables, sumadores, comparadores, multiplexores, decodificadores...

A mayores, se le ha añadido un sistema de alimentación para que se pueda utilizar teniendo a mano cualquier enchufe de alimentación, y una fotorresistencia con la que se puede variar manualmente la frecuencia del procesador a partir de la luz que éste reciba, además de un *display* para ver el avance del contador del procesador y la posición del registro de memoria donde se almacena la información de salida.

Palabras Clave

Procesador, electrónica, ALU, contador, registros, memoria, bit, CI, instrucción, von Neumann, microprogramable.



Índice

Resumen	2
Palabras Clave	2
Índice	3
1. Introducción	4
1.1. Justificación del proyecto	4
1.2. Objetivo del proyecto.....	4
2. Memoria descriptiva	5
2.1. Partes de un procesador	5
2.2. Funcionamiento de una instrucción	6
2.3. Planteamiento del prototipo	6
3. Metodología y materiales	7
3.1. Preparación y materiales utilizados	7
3.2. Componentes de las partes del procesador.....	8
3.3. Herramientas y equipos.....	12
4. Resultados	13
4.1. Simulación digital del prototipo	13
4.2. Proceso de montaje.....	14
4.3. Alimentación y conexionado	15
4.4. Prototipo final	16
4.5. Mejoras adicionales.....	16
4.6. Presupuesto	18
5. Conclusiones	19
6. Referencias bibliográficas	20



1. Introducción

1.1. Justificación del proyecto

La idea de realizar este proyecto surge de la necesidad de conocer **cómo es un procesador por dentro** y ver su funcionamiento paso a paso, puesto que los microprocesadores comerciales utilizan a día de hoy tecnología nanométrica, de modo que no se pueden ver los componentes, y sólo se conoce su composición, sin poder apreciar los detalles y el flujo de información dentro del dispositivo.

Se trata de un **proyecto innovador que también tiene carácter educativo**, ya que, con el diseño y fabricación del prototipo, a parte del propio uso del procesador, se puede aplicar como instrumento educativo para que otros alumnos o usuarios vean a **tamaño real las partes del procesador, comprendan su funcionamiento paso a paso** y puedan utilizarlo.

1.2. Objetivo del proyecto

El presente documento tiene como objetivo detallar el **diseño, construcción y funcionamiento de un procesador de 1 bit implementado en placas protoboard con componentes lógicos básicos**. Este proyecto forma parte de una iniciativa educativa orientada a comprender los fundamentos de la arquitectura de computadores, mediante la creación de un sistema funcional que incluye una **Unidad Aritmético-Lógica (ALU)**, un **Contador de Programa (PC)**, un **Registro de Instrucción (IR)** y una **memoria RAM** de 1 bit por dirección, con un total de 8 direcciones.

El enfoque se centra en la implementación física, por lo que se detalla el uso de circuitos integrados, conexiones en *protoboard*, componentes pasivos y alimentación. Así, se busca ofrecer una guía completa para replicar el sistema, abordando tanto el montaje físico como el análisis funcional de cada módulo.

2. Memoria descriptiva

2.1. Partes de un procesador

El procesador es una de las partes principales de cualquier **computador o equipo microprogramable**. Suele estar ensamblado a **una memoria principal** a través de buses, bien de datos, de control o de direcciones.

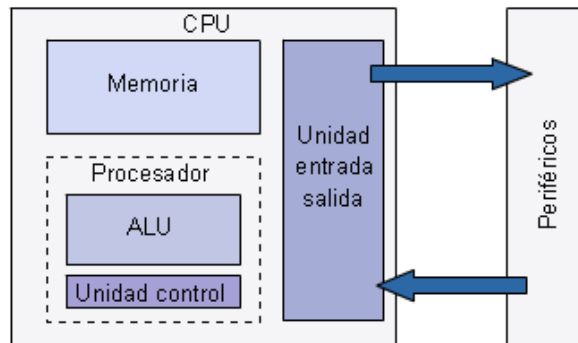


Figura 1. Arquitectura general de un computador, según von Neumann.

Fuente: Universitat Oberta de Catalunya ⁽¹⁾.

A su vez, el procesador se compone de los siguientes bloques funcionales:

- **ALU (Unidad Aritmético-Lógica):** Realiza operaciones lógicas y aritméticas básicas sobre datos de 1 bit.
- **Contador de Programa (PC):** Apunta a la dirección actual de la instrucción en memoria.
- **Registro de Instrucción (IR):** Almacena la instrucción leída de la memoria.
- **Memoria de registros (1 bit x 8 direcciones):** Almacena instrucciones y datos.
- **Decodificadores y multiplexores:** Para seleccionar operaciones e instrucciones.
- **Sistema de reloj:** Controla la sincronización entre bloques.

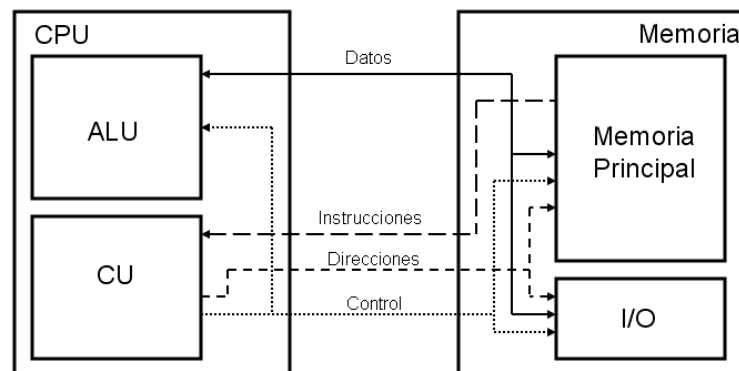


Figura 2. Arquitectura de un procesador y buses de comunicaciones, base del procesador diseñado. *Fuente: Web Linus, de J. Izquierdo ⁽²⁾.*

2.2. Funcionamiento de una instrucción

El flujo de datos dentro del procesador comienza con la lectura de una instrucción desde la memoria por parte del PC. Esta instrucción **se almacena en el IR, se decodifica y se ejecuta mediante la ALU**. Los datos resultantes se pueden leer o escribir en los registros de memoria dependiendo de la instrucción. La comunicación entre bloques se realiza mediante **buses de control, datos y direcciones** debidamente sincronizados.

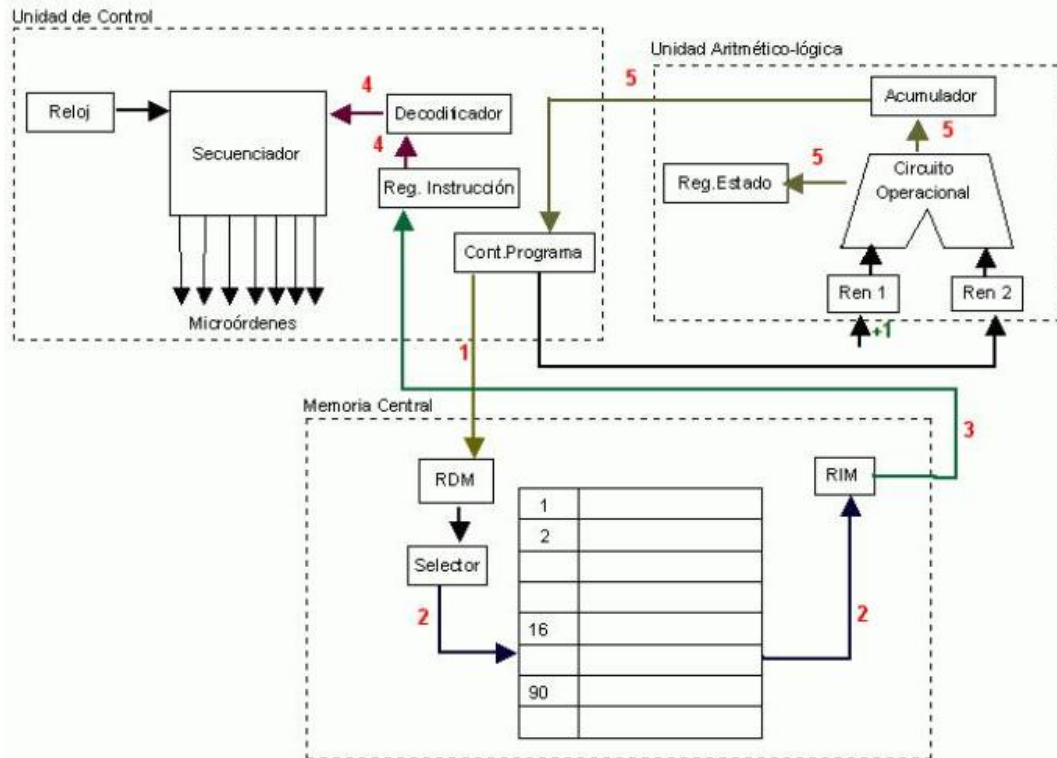


Figura 3. Orden del proceso de una instrucción dentro de un procesador, partiendo desde los registros de la Memoria Central, gestionados por la Unidad de Control, y operados en la Unidad Aritmético-Lógica (ALU). Fuente: Web Linus, de J. Izquierdo ⁽²⁾.

En nuestro procesador, tendremos **dos entradas A y B, de 1 bit** cada una, y 4 entradas de selección de la operación que va a realizar la ALU (**16 operaciones disponibles**) con dichos bits (el resultado de la operación en **la salida será de 1 bit** también) mientras que el almacenaje lo controla el Contador de Programa (PC), para decir en qué registro de la memoria se almacena (**8 registros de 1 bit** para su almacenamiento).

2.3. Planteamiento del prototipo

A partir de los conocimientos básicos de cómo es un microprocesador por dentro y de cómo se ejecutan las instrucciones, se comenzó a planificar un prototipo de procesador, basado en la combinación de componentes electrónicos digitales tales como: puertas

lógicas, biestables, multiplexores y decodificadores, todos ellos incluidos dentro de circuitos integrados.

Para poder realizar el prototipo físico, se partió de la idea de diseñarlo previamente mediante un **simulador digital (LogiSim®)**, que permite diseñar sistemas electrónicos digitales combinacionales y secuenciales.

Una vez simulado en digital, y comprobado que para 1 bit era factible poder estimar los materiales necesarios para realizarlo físicamente, se procedió a su implementación, estableciendo los materiales necesarios y una metodología ordenada de fabricación.

3. Metodología y materiales

3.1. Preparación y materiales utilizados

En primer lugar, se hizo recuento de todas las **placas protoboard** que hacían falta para desarrollar el procesador en el menor espacio posible. En total se utilizaron 8 *protoboard* ensambladas.

Después se cogió **cable y las herramientas necesarias**, y se recopilaron los **circuitos integrados (CI)** para cada una de las partes del procesador.



Figura 4. Materiales utilizados en la fabricación del proyecto (componentes electrónicos, placas *protoboard*, cableados...).



3.2. Componentes de las partes del procesador

UNIDAD ARITMÉTICO-LÓGICA (ALU)

La ALU ejecuta 16 posibles operaciones lógicas (AND, OR, XOR, NOR, NAND) y aritméticas (ADD, SUB, LESS) sobre dos entradas A y B de 1 bit. Cada operación se encuentra codificada en 3 bits y es seleccionada por un multiplexor.

Además, se incluyen señales de control (indicadores LED) para el acarreo y operaciones condicionales como LESS o SET.

Componentes usados:

- 7408 (4 compuertas AND)
- 7432 (4 compuertas OR)
- 7486 (4 compuertas XOR)
- 7400 (4 compuertas NAND)
- Multiplexor (74153) para seleccionar el resultado según el código de operación
- Compuertas NOT (7404) y AND adicionales para implementar funciones como NOR, LESS y la salida SET
- 7483 (Sumador / restador).
- 7485 (Comparador).

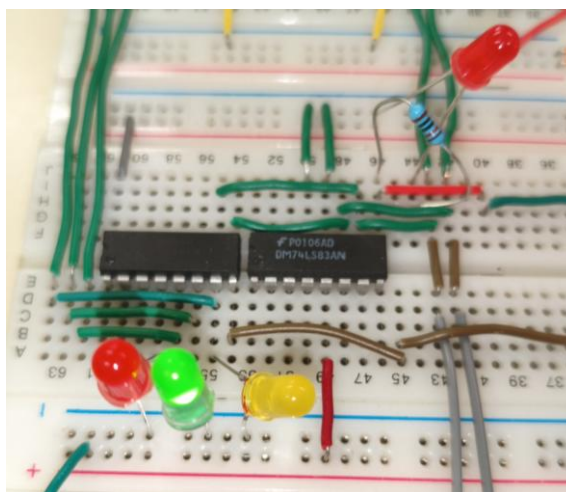


Figura 5. Ejemplo de circuitos integrados del comparador de la ALU, con 3 LED de diferentes colores para saber si los bits de entrada son iguales, menores o mayores.



Condiciones:

- Las entradas A y B se conectan en paralelo a todas las compuertas.
- Las salidas de las operaciones se enrutan al multiplexor que selecciona la operación según los bits del IR.
- El resultado final es dirigido a un bus de salida o registrado según control.
- El acarreo se implementa con XORs entre entradas y el bit de acarreo de entrada, junto con una compuerta AND para generar el acarreo de salida.
- LESS se activa cuando $A < B$ según una lógica combinacional basada en señales de comparación y acarreo.
- En el comparador se enciende un LED rojo si $A < B$, un LED verde si $A = B$ y un LED amarillo si $A > B$.

CONTADOR DE PROGRAMA (PC)

El PC mantiene la dirección de la instrucción a ejecutar. En este caso, se incrementa automáticamente, pudiéndose regular su velocidad.

Componentes usados:

- 2 x 7473 (Biestables J-K para fabricar el contador de 3 bits).
- 7447 (Decodificador de 7 segmentos).
- *Display* de 7 segmentos.

Condiciones:

- Las salidas del PC (3 bits) se conectan al bus de direcciones.
- Se conectará un reloj o *clock* fabricado con un CI 555 para avanzar el contador paso a paso.
- El reloj general sincroniza los pulsos de avance.
- Las entradas de CLEAR permitirán reiniciar la ejecución desde la dirección 0.

REGISTRO DE INSTRUCCIÓN (IR)

El IR almacena temporalmente la instrucción leída desde memoria (en este caso, desde las entradas del *microswitch*). Indicará la operación a realizar dentro de la ALU con los dos bits de entrada A y B.



Componentes usados:

- 7474 (4 *flip-flops* tipo D con reloj y habilitación)
- 1 microswitch con 8 entradas de selección (de las cuales se usarán la 1 y la 2 para A y B, respectivamente, y de la 3 a la 6 para seleccionar la operación de la ALU de entre las 16 operaciones posibles que puede realizar el procesador).

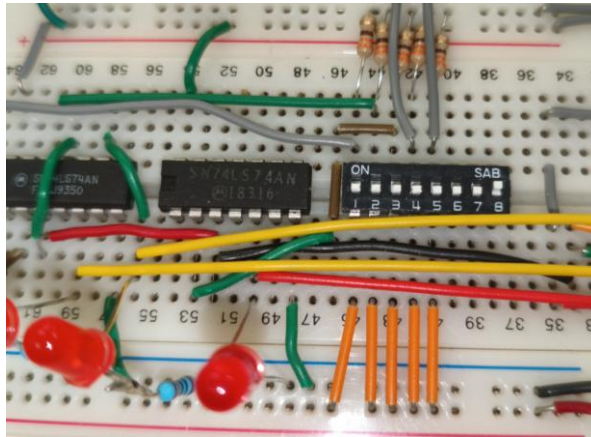


Figura 6. Microswitch (o banco de *switches*) para la unidad control del procesador. Los bits 1 y 2 son las entradas A y B del procesador y los bits del 3 al 6 son los bits de selección de la operación a realizar por la ALU.

Condiciones:

- Las entradas de selección del *microswitch* se conectará n en paralelo a las entradas de los biestables de tipo D, donde se almacenarán.
- Se usará el flanco de bajada del reloj para capturar la instrucción en cada ciclo (comprobándolo con el osciloscopio).
- Las salidas se usarán para controlar la ALU y acceder a los registros de memoria de forma selectiva.

MEMORIA (REGISTROS DE 8 X 1 BIT)

Se utiliza para almacenar los datos resultantes de la ALU. Tiene una arquitectura básica basada en biestables y acceso por dirección binaria de 3 bit, indicada por el contador.

Componentes usados:

- 4 x 7474 (Biestables tipo D).
- 74138 (Decodificador de 3 a 8 para selección de dirección).
- 74151 (Multiplexor) para leer el contenido de una única celda



- 8 LED de color rojo.



Figura 7. Circuitos integrados usados en la fabricación de las partes del procesador.

Condiciones:

- Las 3 líneas de dirección alimentan el 74138.
- Cada salida del decodificador activa una de las 8 celdas.
- Para la escritura, una señal de reloj junto con la selección activa permite almacenar un 1 o 0 (se enciende un LED rojo, o se apaga, respectivamente).
- Para la lectura, un multiplexor toma las salidas de todos los biestables (flip-flops) y selecciona la correspondiente.
- La lectura puede visualizarse en los 8 LED correspondientes.
- Para cargar el programa en memoria, se utiliza el banco de switches.

SISTEMA DE RELOJ Y CONTROL

Permite la sincronización de las operaciones. El reloj define los momentos en los que se actualizan los registros, se ejecutan instrucciones y avanza el PC.

Componentes usados:

- Temporizador 555 en modo astable.
- Red de resistencias de 2k y condensadores de 100 μ F y 10 μ F.
- Fotorresistencia para regular la velocidad del reloj.



Condiciones:

- El temporizador 555 se montará con resistencias y condensadores para establecer la frecuencia deseada (se ha dejado por defecto a 1 segundo).
- El reloj se conectará a todos los componentes sincronizados (IR, PC, registros...)
- La fotorresistencia, cuando recibe más luz, acelera el reloj, y cuando recibe menos, reduce el tiempo general del procesador, por si se quiere apreciar paso a paso cada instrucción ejecutada por el mismo.

3.3. Herramientas y equipos

Se utilizaron diversos equipos electrónicos y herramientas manuales para la ejecución física del proyecto. Entre ellos, cabe destacar:

- Herramientas:

- Tijeras: para cortar y pelar cable de cobre.
- Alicates: para corte de patillas de resistencias o LEDs.

- Equipos:

- Fuente de alimentación de CC, para generar 5 V, inicialmente.
- Generador de CA, para simular la onda cuadrada del reloj del procesador mientras que no estaba fabricado.
- Entrenador digital: para alimentar todo el montaje mientras que la alimentación no estaba fabricada, y utilizar sus LEDs para comprobar las salidas de cada una de las partes del procesador.



Figura 8. Equipos utilizados para el desarrollo del proyecto.

Izda.: PC, fuente de CC y generador de CA y osciloscopio.

Dcha.: Entrenador digital, para la prueba del prototipo durante su montaje.

4. Resultados

4.1. Simulación digital del prototipo

Antes de comenzar con el montaje físico, era fundamental hacer un **diseño digital** que sirviera como base para la implementación del prototipo final.

Se realizó con el **simulador de electrónica digital LogiSim©** un diseño base. En él diseñaron cada una de las partes del procesador, y se ensamblaron, resultando el diseño final que se puede apreciar en la Figura 9.

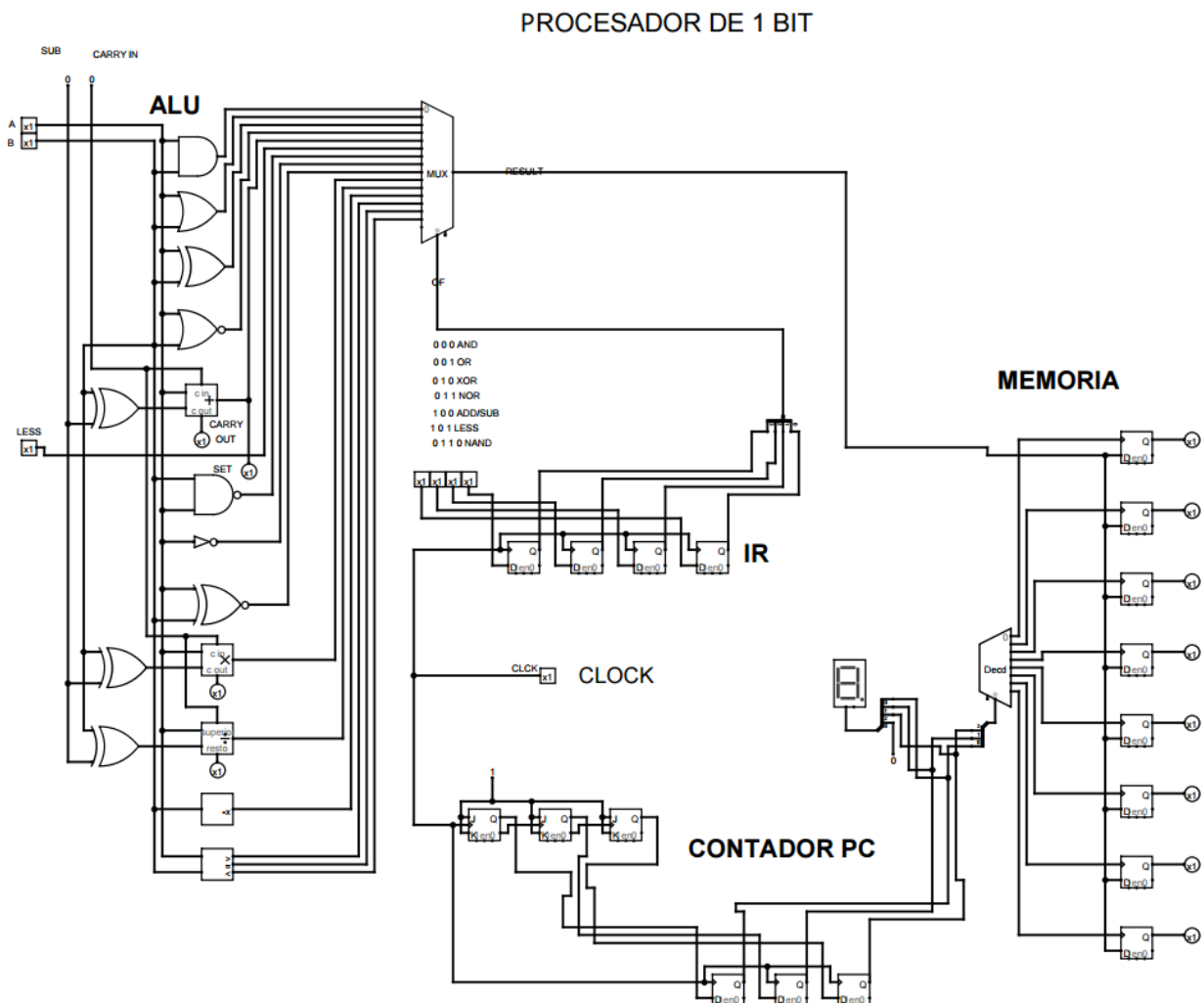


Figura 9. Diseño digital previo realizado por los alumnos con el simulador LogiSim ©.
Fuente: elaboración propia.

Cada alumno realizó su propio diseño (no hay una solución única), eligiéndose el del **esquema anterior como el óptimo** en material y, por tanto, en costes y en el tiempo de fabricación posterior. A partir de este diseño con el simulador, se pudo proceder a su montaje físico.

4.2. Proceso de montaje

Para comenzar con el montaje del procesador, se subdividió el trabajo en cada una de las partes del procesador explicadas. Se conectaron **8 protoboards para hacer la base** del sistema y poder conectar los componentes (circuitos integrados, resistencias, condensadores, LED...) y el cableado. Se trabajó identificando:

- Módulos separados por protoboard: ALU, PC, IR y Registros de memoria.
- Conectores de pines o cables de puente para interconectar módulos.

Se conectó todo el sistema a un entrenador digital, para que tuviera alimentación eléctrica (todos los componentes trabajan a 5 V de corriente continua) y para disponer de switches para variar los bits necesarios para el funcionamiento del prototipo, así como de LEDs para la comprobación de los resultados parciales.

La secuencia de montaje seguida fue la siguiente:

1. **Construcción y prueba individual de la ALU.**
2. **Ensamblaje y testeo del Contador de Programa (PC)** con avance de dirección.
3. **Montaje del IR** y validación con señales de prueba.
4. Implementación de los **registros de la memoria principal**.
5. **Integración total y verificación** del sistema.
6. Montaje del **sistema de alimentación y reloj**.
7. **Pruebas continuas de funcionamiento** con multímetro, LED y osciloscopio.
8. **Verificación continua de las conexiones** mediante continuidad con polímetro.

Según se iba terminando la construcción de cada parte del procesador, se integraba con la siguiente parte y se probaban en conjunto, subsanando los posibles fallos encontrados; ésta fue una fase que llevó bastante tiempo, ya que requirió de comprobaciones constantes y subsanación de errores o averías posteriores, derivadas principalmente de la adición de algún módulo nuevo al prototipo base.

- **La ALU se validó módulo por módulo**; se conectaron LEDs a cada salida lógica y se comparó el comportamiento con la tabla de verdad esperada.
- Un LED también se conectó a cada salida del IR para verificar que **se capturaba en los biestables de tipo D** correctamente la instrucción ejecutada por la ALU.



- Se añadió un **display de 7 segmentos** para comprobar visualmente la posición de memoria en la que se almacena el resultado de la ALU, comprobando de esta manera el correcto funcionamiento del Contador de Programa (PC).

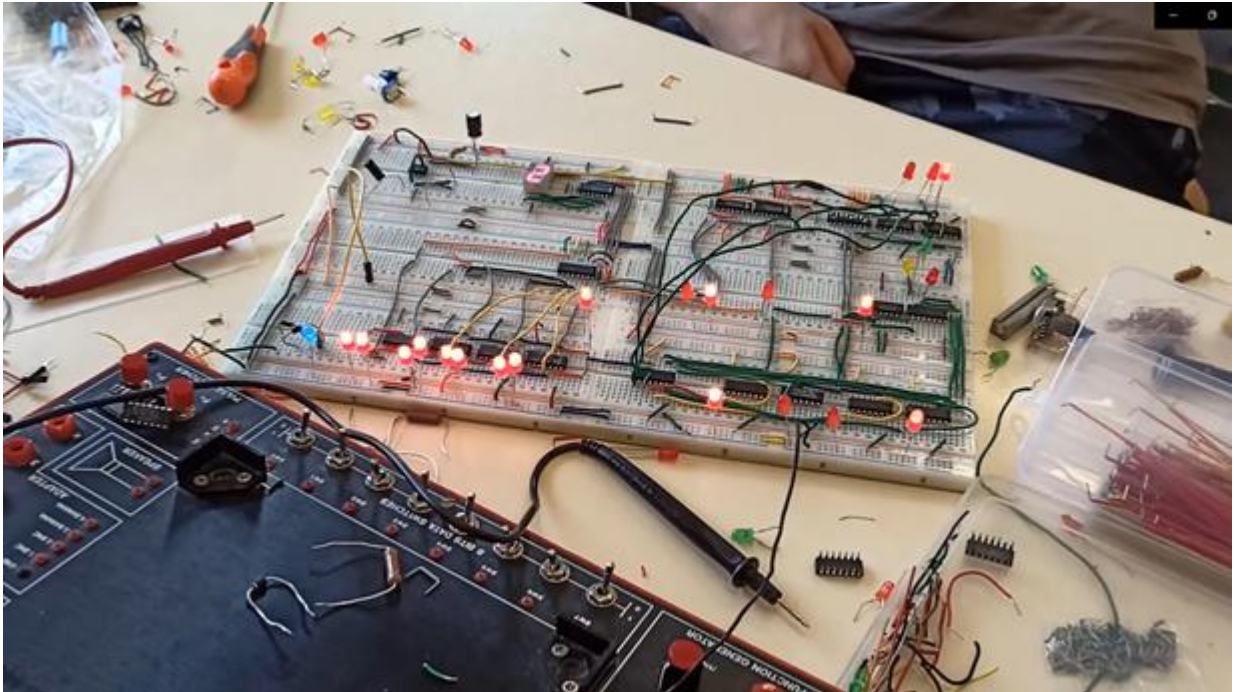


Figura 10. Imagen de un momento del proceso de montaje del procesador, conectado al entrenador digital para la comprobación de su funcionamiento.

4.3. Alimentación y conexionado

El sistema final funciona con una alimentación estable de 5V de CC.

Componentes usados:

- Fuente de 9V (cargador de dispositivo electrónico, con rectificador para pasar de CA a CC, y transformador).
- 2 diodos rectificadores y un LED azul, para absorber los 4 V restantes para pasar de los 9 que da la fuente de alimentación hasta los 5 V necesarios para que funcionen todos los circuitos integrados del sistema.

Condiciones:

- El alimentador se conecta a cualquier enchufe de 230 V y proporcionará 5V de CC regulados.
- Cada protoboard debe recibir alimentación común.
- Se mantiene una línea positiva y otra de tierra a lo largo de las placas.

4.4. Prototipo final

Finalmente se consiguió, tras el **ensamblaje de todos los componentes** electrónicos y continuas **pruebas y subsanación de errores** y la **comprobación del funcionamiento sincronizado** de cada una de las partes como un todo en común, que el procesador cumpliera con su cometido y funcionara correctamente.

Fue necesario hacer infinidad de análisis durante su fabricación, con comprobaciones constantes e independientes zona a zona, **midiendo con equipos electrónicos** que los valores de corriente y voltaje se ajustaran a los que necesitaba cada componente.

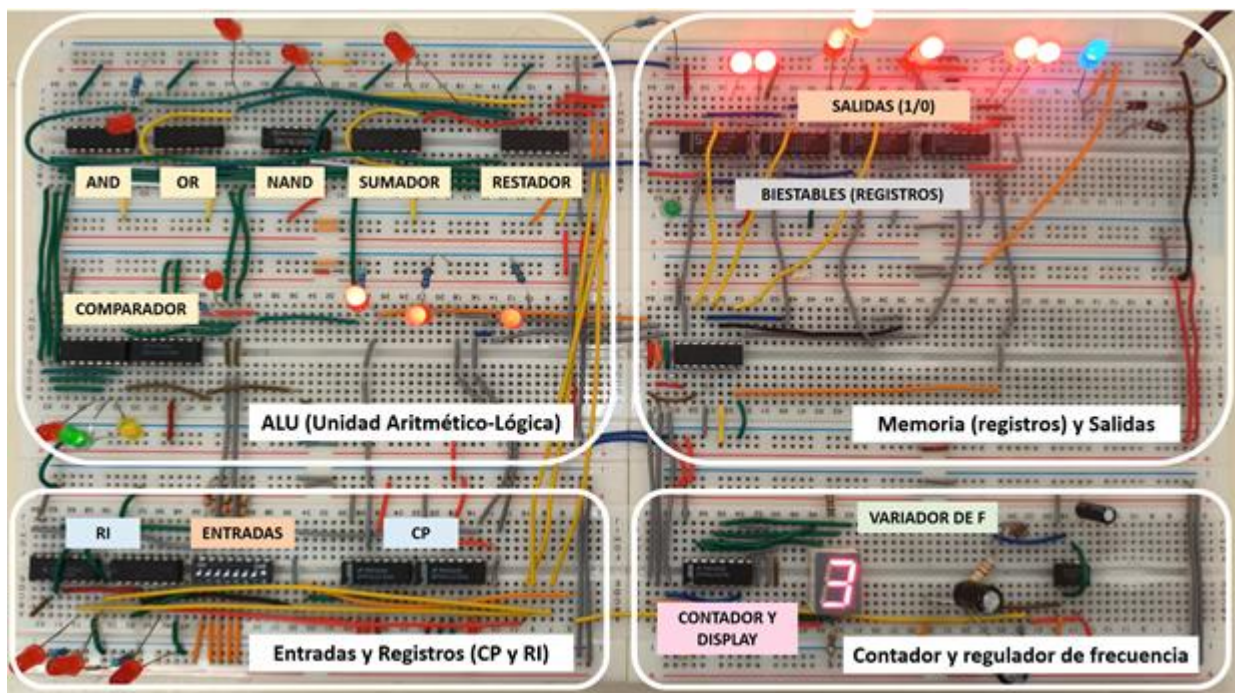


Figura 11. Prototipo final montado y en funcionamiento, con sus partes y componentes principales señalizados.

El resultado final fue satisfactorio, obteniéndose un **procesador completamente funcional** de 1 bit.

Una vez comprobado que el procesador funcionaba correctamente, se le añadieron una serie de mejoras finales para cerrar el proyecto y hacerlo más funcional.

4.5. Mejoras adicionales

Como mejoras adicionales, se añadió un **sistema de alimentación de corriente continua a 5 V** (que es la tensión a la que trabajan todos los circuitos integrados del prototipo), diseñado a partir del cargador de un aparato electrónico de 9 V, al que hubo que cortar el cable para adaptarlo al procesador, introduciendo diodos que absorbieran

parte de esa tensión y resistencias que disminuyeran la corriente, para reducirla y no dañar los LED ni otros dispositivos del proyecto.

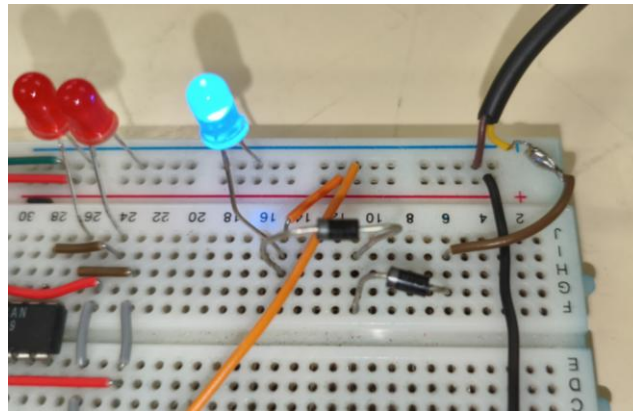


Figura 12. Montaje de la alimentación (enchufe con cable) del procesador, con dos diodos y un LED azul, que indica cuándo está encendido.

De este modo, se pudo hacer el procesador independiente, pudiéndose enchufar en cualquier enchufe doméstico y funcionar con autonomía, sin necesidad de un equipo especial o una fuente de alimentación independiente.

También se optó por mejorar la visibilidad del contador y añadir un **display de 7 segmentos**, de modo que se sepa en cada momento en qué posición está el Contador de Programa, y en qué espacio de almacenamiento de los registros de memoria se está almacenando el resultado final del procesador.

Finalmente, se añadió una **fotorresistencia al reloj de pulsos** o clock, para que se pudiera regular la velocidad de funcionamiento del procesador, en función de la cantidad de luz que reciba dicha fotorresistencia. De este modo, todas las partes del procesador funcionan de manera síncrona, a velocidad deseada.

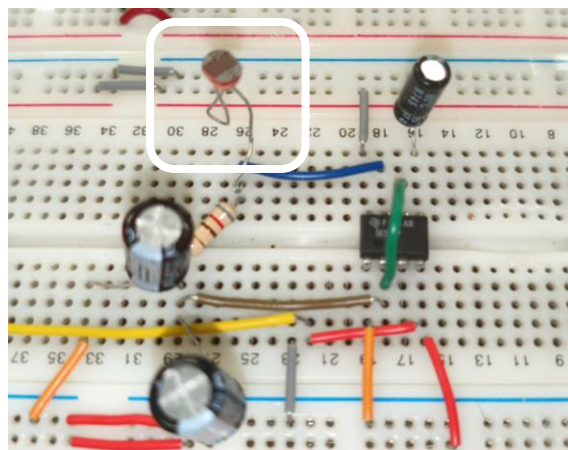


Figura 13. En la parte superior izquierda, fotorresistencia asociada al reloj del procesador, para variar la velocidad de funcionamiento del mismo según la luz recibida.

4.6. Presupuesto

A continuación, se desglosa el presupuesto del proyecto realizado.

Tabla 1. Presupuesto general del proyecto realizado.

ID	DESCRIPCIÓN	COSTE UNITARIO	UNIDADES	COSTE TOTAL
01	Placas protoboard	0,85 €	8	6,80 €
02	CI 7404 (Not)	0,30 €	1	0,30 €
03	CI 7408 (And)	0,30 €	1	0,30 €
04	CI 7432 (Or)	0,30 €	1	0,30 €
05	CI 7400 (Nand)	0,30 €	1	0,30 €
06	CI 7402 (Nor)	0,30 €	1	0,30 €
07	CI 7486 (Xor)	0,30 €	1	0,30 €
08	CI 7483 (Comparador)	0,60 €	1	0,60 €
09	CI 7485 (Sumador)	1,50 €	1	1,50 €
10	CI 74XX (Multiplexor)	0,50 €	1	0,50 €
11	CI 7447 (Decodificador)	0,50 €	1	0,50 €
12	CI 7473 (Biestable JK)	0,53 €	2	1,06 €
13	CI 7474 (Biestable D)	0,68 €	6	4,08 €
14	CI 555 (Temporizador)	0,60 €	1	0,60 €
15	Display 7 segmentos	1,40 €	1	1,40 €
16	Microswitch de 8 entradas deslizantes	12,00 €	1	12,00 €
17	Bobinas de cable de cobre	11,58 €	1	11,58 €
18	Pack de LED de colores	8,99 €	1	8,99 €
19	Diodos	0,10 €	2	0,20 €
20	Condensadores	0,97 €	3	2,91 €
21	Kit de resistencias	4,39 €	1	4,39 €
22	Fotorresistencia	0,25 €	1	0,25 €
23	Cargador	3,45 €	1	3,54 €
TOTAL				62,70 €

El presupuesto final del proyecto asciende a **sesenta y dos euros y setenta céntimos (62,70 €)**.

5. Conclusiones

Este proyecto permite comprender los fundamentos del diseño de procesadores desde el nivel más básico. La implementación modular y física en *protoboard* facilita la depuración y la comprensión del sistema.

Ventajas:

- Visualización clara del funcionamiento lógico.
- Flexibilidad para pruebas y modificaciones.
- Enfoque didáctico en arquitectura de computadores.

Posibles ampliaciones:

- Ampliar a 2 o 4 bits para ejecutar operaciones más complejas.
- Añadir una Unidad de Control cableada o microprogramada.
- Incorporar una memoria principal (RAM) de la que leer las instrucciones para que las ejecute automáticamente y no haga falta jugar con los *microswitch* de entrada.
- Conectar una interfaz de entrada/salida para interacción con el usuario u otros periféricos.

Se puede concluir finalmente destacando que, gracias a la realización de este proyecto, se puede apreciar de qué está compuesto y cómo funciona un procesador, de fabricación propia, por dentro. Se trata además de un procesador que permite su manejo de manera manual, comprendiendo y observando su funcionamiento, sabiendo que se trata del elemento fundamental de cualquier dispositivo electrónico en la tecnología actual, y en un microprocesador comercial esta información no se puede apreciar, por su reducido tamaño y complejidad constructiva.

Este diseño puede servir como **base para desarrollos más avanzados**, incluyendo simulación en FPGA, programación en ensamblador o desarrollo de un entorno gráfico educativo.



6. Referencias bibliográficas

- Raya Cabrera, J. L., Raya González, L., & Luque Sacaluga, D. (2005). *Electrónica digital y microprogramable*. Ra-Ma S.A. Editorial y Publicaciones.
- Angulo Usategui, J. M., Angulo Martínez, I., Etxebarria Isuskiza, M., & Hernández Martín, J. C. (2007). *Electrónica digital y microprogramable* (Ediciones Paraninfo). Ediciones Paraninfo.
- Carmona Rubio, G., & Díaz Corcobado, T. (2010). *Electrónica aplicada* (1.^a ed.). McGraw-Hill Interamericana de España S.L.
- Burch, C. (2006). *Logisim (versión 2.1.0) [Software de simulación de lógica digital]*. Recuperado de <https://cburch.com/logisim/docs/2.1.0-es/guide/index.html> - Documentación y guía del usuario de Logisim, el simulador de circuitos lógicos digitales.
- ⁽¹⁾ Universitat Oberta de Catalunya. (s. f.). *El ordenador, máquina informacional*. https://cv.uoc.edu/moduls/XW02_79049_00373/web/nwin/m1/ccomp07.html
- ⁽²⁾ Izquierdo, J. (2021, 7 de enero). *Búsqueda y ejecución de una instrucción en la arquitectura Von Neumann: paso a paso*. Weblinus. <https://weblinus.com/busqueda-y-ejecucion-de-una-instruccion-a-partir-de-la-arquitectura-von-neumann-paso-a-paso>