

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA TARJETA DE APRENDIZAJE BASADA EN ESP32 COMPATIBLE CON MÓDULOS COMERCIALES DE BAJO COSTO

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A LEARNING BOARD BASED ON ESP32 COMPATIBLE WITH LOW-COST COMMERCIAL MODULES

Miguel Ángel Bañuelos Saucedo

UNAM, Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología, México
miguel.banuelos@icat.unam.mx

Milagros Pacheco Castañeda

UNAM, Escuela Nacional Preparatoria plantel 5, México
milagros.pacheco@enp.unam.mx

Rebeca Guillermina Villegas Salas

UNAM, Escuela Nacional Preparatoria plantel 7, México
rebeca.villegas@enp.unam.mx

Recepción: 18/noviembre/2024

Aceptación: 27/junio/2025

Resumen

Las tarjetas de hardware abierto, como Arduino, se han convertido en una herramienta de aprendizaje de programación y electrónica. Se propone el desarrollo de una tarjeta basada en ESP32 y el ambiente de programación de Arduino, como herramienta auxiliar en el desarrollo de ejercicios de laboratorio. La placa incluye algunos sensores y actuadores como: pantalla OLED, LED RGB, zumbador, fotorresistencia, potenciómetro, y botones de presión. La tarjeta permite a los estudiantes desarrollar aplicaciones de una manera más ágil porque se simplifican las conexiones, ya que cuenta con algunos dispositivos en la placa. Adicionalmente, se pueden añadir sensores de bajo costo mediante inserción directa en los receptáculos de la tarjeta.

Palabras Clave: Arduino, ESP32, Hardware abierto, Internet de las cosas.

Abstract

Open hardware boards, like Arduino, have become a learning tool for programming and electronics. A board based on ESP32 and the Arduino IDE is presented, as an auxiliar tool in the development of laboratory exercises. The board includes some sensors and actuators, such as: OLED display, RGB LED, buzzer, photoresistor, potentiometer, and push buttons. The design also has eleven connectors which are compatible with low-cost commercial modules, with analog or I2C digital signals. The board allows the students to develop applications in a more agile way because connections are simplified, since there are some on-board devices. Additionally, other low-cost sensors can be added by direct insertion to the board headers.

Keywords: *Arduino, ESP32, Internet of things, Open hardware.*

1. Introducción

La enseñanza de conceptos básicos de programación y electrónica se ha beneficiado del uso de diversas plataformas de hardware y software abiertos [Abdiakhmetova, 2023], [Ramlee, 2024], [Tselegkaridis, 2024]. Un ejemplo relevante son las tarjetas Arduino, que permiten desarrollar instrumentos de medición y efectuar prácticas de laboratorio a un costo inferior comparado con el uso de equipos comerciales.

Como parte de un proyecto de desarrollo de material didáctico para la asignatura de nivel bachillerato titulada Informática aplicada a la ciencia y a la industria, los autores diseñaron un módulo escudo que se acopla a una tarjeta Arduino UNO [Bañuelos, 2021]. A partir de esa experiencia nació el interés de abordar aplicaciones del internet de las cosas, por lo que se pensó en desarrollar un nuevo módulo con capacidades de conexión inalámbrica. Para ello se evaluó utilizar los módulos ESP8266 y ESP32, que se pueden utilizar con la misma plataforma del Arduino IDE; así como la tarjeta Raspberry Pi W Zero y la tarjeta Arduino UNO Wi-Fi Rev 4. Las opciones más económicas son el ESP8266 WeMos D1 Mini (\$64 pesos MNX / US \$3.5 dólares) y el ESP32 NodeMCU-32S (\$140 pesos MNX / US \$8 dólares). El ESP8266 es el más económico, pero el ESP32 tiene mejores características, entre

las que destaca la conexión Wi-Fi [Dogan, 2017], que no tiene el ESP8266. Entre las mejoras se incluye: mayor número de puertos, más memoria, mayor resolución del convertidor analógico-digital (con más canales) y la inclusión de un convertidor digital-analógico dual (Tabla 1). Si se compara con una tarjeta Arduino UNO Rev3, que tiene un procesador ATmega328P de 8 *bits* y 32 *kB* de memoria de programa, el ESP32 puede tener mil veces más capacidad y adicionalmente cuenta con una unidad matemática de punto flotante. De esta manera se selecciona el ESP32 para desarrollar una tarjeta de aprendizaje. El ESP32 es una plataforma que permite introducirse al desarrollo de experimentos del internet de las cosas de una forma relativamente sencilla, al poderse programar utilizando el ambiente Arduino IDE. Por otro lado, el simulador Wokwi, de uso libre, puede complementar este aprendizaje [Asim, 2023].

Tabla 1 Comparación entre el ESP8266 y el ESP32.

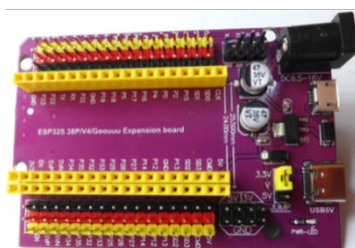
	ESP8266EX WeMos D1 Mini	ESP32 NodeMCU-32S
Procesador	Xtensa LX6 doble núcleo 80 <i>MHz</i>	XTensa L106 un núcleo 160 <i>MHz</i>
Arquitectura	32 <i>bit</i>	32 <i>bit</i>
Flash	4 <i>MB</i>	32 <i>MB</i>
SRAM	160 <i>kB</i>	320 <i>kB</i> , 8 + 8 <i>kB</i> SRAM en RTC
EEPROM	Ninguna	768 <i>bits</i>
Puertos digitales	17 (11 en WeMos D1 Mini) 8 PWM (software) 6 puertos son reservados	hasta 36 16 PWM (software) 6 puertos son reservados
ADC	1 ch, 10 <i>bits</i>	18 ch, 12 <i>bits</i> (Dual ADC)
DAC	Ninguno	2 DAC 12-bit
Multiplicación	No especifica	Punto flotante
Voltaje E/S	3.3 <i>V</i>	3.3 <i>V</i>

Fuente: elaboración propia

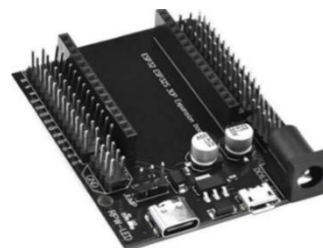
Se ha reconocido la importancia de capacitar a estudiantes y profesores en el uso de estas tecnologías [Ga, 2024]. Sin embargo, un problema constante durante su uso es la posible complejidad en la conexión de la tarjeta y sus accesorios (sensores y actuadores). Aunque la mayoría de los sensores requieren de 3 o 4 cables de conexión [Santos, 2018], revisar los circuitos durante prácticas de laboratorio con grupos numerosos puede consumir mucho tiempo. Esto es relevante debido a que muchos de los profesores pueden no ser especialistas en electrónica.

Se han desarrollado numerosas tarjetas de evaluación y módulos escudo (*shields*) tanto en el mercado comercial como en el ámbito académico. Estos dispositivos se pueden clasificar en tres tipos: módulos de interconexión, tarjetas de propósito específico y módulos o tarjetas de propósito general.

En la Figura 1 se presentan dos ejemplos de módulos de interconexión. Estos permiten la inserción de una placa basada en ESP32 y su objetivo es hacer accesibles las terminales de este, agrupadas con terminales de alimentación y conexión a tierra. Adicionalmente pueden contar un regulador de voltaje y conexión para eliminador de baterías. Una variante de módulo de interconexión es la presentada por [Jamaludin, 2020] donde se cuenta con transistores MOSFET para implementar cambios de nivel lógico, de 5 V a 3.3 V, y conectores externos para utilizar las líneas de entrada/salida en modo digital, además de LEDs que sirven como indicadores del estado de cada pin. En estos ejemplos de tarjetas de interconexión, la utilización de sensores y actuadores se realiza mediante cables tipo jumper, por lo que sigue estando presente el problema de revisar y verificar las conexiones elaboradas por los estudiantes.



a) Gooou.



b) Handson Technology.

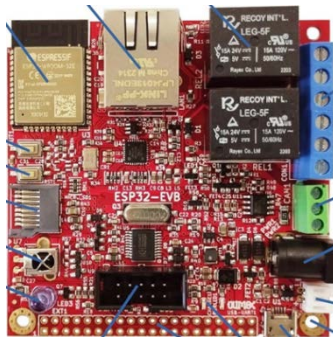
Fuente: [Handson Technology, 2023]

Figura 1 Ejemplo de tarjetas de expansión para ESP32.

Como ejemplo de un sistema de propósito específico está el ESP32-LyraT-Mini [Expressif, 2019], diseñado para aplicaciones de audio, ya que incluye chips codificadores-decodificadores de audio, convertidor analógico-digital, ranura para tarjeta microSD y ocho botones. Este tipo de tarjetas no proporcionan la flexibilidad que se requiere para el aprendizaje de la asignatura objetivo.

Dentro de la categoría de módulos de propósito general está el desarrollado por la empresa búlgara OLIMEX, que comercializa diversos módulos basados en ESP32,

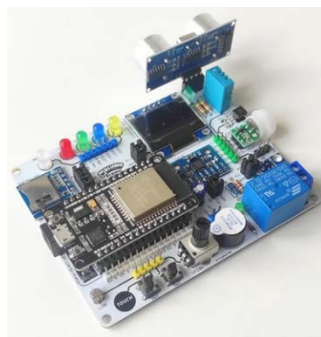
entre ellos el ESP32-EVB [Olimex, 2024]. Este es un módulo de evaluación que incluye un microcontrolador ESP32-WROOM-32E, una interfaz ethernet de 100 MB, una ranura para tarjeta SD, manejadores de interfaz CAN, transceptores de luz infrarroja, un cargador de batería Li-Po, un LED de propósito general y dos relevadores. Tiene también dos conectores para dispositivos externos (Figura 2). Los conectores de la placa ESP32-EVB no están diseñados para aceptar de manera práctica sensores y actuadores adicionales, por lo que su usabilidad se centra en los conectores y dispositivos ya instalados.



Fuente: [Olimex, 2024]

Figura 2 Módulo de evaluación Olimex ESP32-EVB.

Otro ejemplo de módulo de propósito general es el ESP32 IoT Starter Shield Ver 2.0 [Bluino, 2024], que cuenta con varios sensores y actuadores interconstruidos (LEDs, relevador, sensor de temperatura y humedad, zumbador, sensor PIR, potenciómetro, unidad inercial, pantalla OLED y otros) pero una limitada flexibilidad para aceptar dispositivos adicionales (Figura 3).



Fuente: [Bluino, 2024]

Figura 3 Módulo ESP32 IoT Starter Shield Ver 2.0.

El objetivo de este trabajo es el desarrollo de una tarjeta basada en el módulo ESP32, que sirva como auxiliar en el aprendizaje en cursos de educación media superior y superior. Para que el usuario pueda realizar sus primeros programas sin necesidad de hacer conexiones adicionales, se propone que la tarjeta cuente con una pantalla OLED para visualizar datos; algunos sensores y actuadores integrados. Pensando en ampliar las posibilidades de aplicación, se buscó que fuera fácil añadir sensores y actuadores mediante módulos externos comerciales de bajo costo.

2. Métodos

Como metodología de diseño se siguieron las etapas indicadas en la Figura 4. Para la definición de las especificaciones se partió del objetivo de desarrollar una tarjeta de aprendizaje basada en un módulo ESP32. El diseño debe contener algunos sensores y actuadores, ya que dan una gran facilidad para que el profesor desarrolle prácticas, pues sus estudiantes ya no deben realizar ninguna conexión.



Fuente: elaboración propia

Figura 4 Metodología de diseño.

Para el despliegue de información es importante contar con LEDS y con una pantalla. Se propone que el nuevo diseño tenga una pantalla OLED, la cual permite mostrar información de manera gráfica y resulta atractiva a los estudiantes. Los autores de este artículo desarrollaron previamente un módulo escudo para Arduino UNO, el cual se denominó DASA v1.0 y se muestra en la Figura 5 [Bañuelos, 2021]. Este módulo DASA v1.0, al igual que las tarjetas que se presentaron en la sección de introducción, presentan poca flexibilidad para conectar de manera sencilla nuevos sensores. La manera más ágil de añadir sensores consiste en la inserción directa de los mismos, sin necesidad de utilizar cables jumper. Se establece entonces que la nueva placa deberá aceptar nuevos sensores mediante inserción a varios conectores.



Fuente: elaboración propia

Figura 5 Módulo escudo DASA v1.0.

En la selección de componentes se consideró conservar algunos de los dispositivos integrados en la placa DASA v1.0, tomando como criterio el costo y la flexibilidad de uso. Por ejemplo, los LEDs pueden servir para dar señales de intervalo de medición para diferentes sensores (bajo, medio, alto), un zumbador pasivo puede producir diferentes tipos de alertas sonoras, etc. Algunos de los componentes seleccionados se pueden utilizar para prácticas de dispositivos de internet de las cosas en aplicaciones del hogar. Por ejemplo: un sensor de gas, como detector de humo; una fotorresistencia, para un control automático de encendido de luces; el zumbador pasivo, como alarma de intrusos o de detección de humo; un LED RGB como control de iluminación remota; un potenciómetro, como control de iluminación local; conexión para un sensor de temperatura DS18B20, como sensor de temperatura ambiental. Finalmente, se incluyeron cuatro botones de presión para realizar programas de configuración del sistema, con ayuda de la pantalla OLED de *64x128 pixels*.

Para la inserción de sensores adicionales, se vio que algunos fabricantes han desarrollado módulos con su propio estándar de conexión (por ejemplo Seeed, en el caso de los módulos Grove) [SeeedStudio, 2020]. Sin embargo, se prefirió buscar alternativas más económicas y de fácil adquisición en el mercado. Entonces quedó abierta la pregunta de si existe alguna disposición de pines que sea común entre los módulos comerciales. Lo primero que se encontró fue que algunos sensores operan con una interfaz de comunicación I2C, y sus pines suelen seguir la secuencia: VCC, GND, SCL, SDA. Entre estos módulos se encuentran el BMP180, que es un sensor de presión y temperatura atmosféricas; y el AHT10, que permite medir la temperatura ambiental y la humedad relativa con mejor exactitud que el

ampliamente utilizado DHT11. Esto fue una razón suficiente para considerar incluir conectores para módulos de sensores basados en I2C.

En el mercado se pueden conseguir kits de 37 sensores (Figura 6) por aproximadamente \$300 pesos MNX / US \$16 dólares. Algunos de esos sensores también se pueden conseguir en forma individual.



Fuente: elaboración propia

Figura 6 Ejemplo de kit de 37 de sensores.

El número de pines de los sensores del kit varía entre 3 y 5, y su disposición no es uniforme. Sin embargo, se realizó una tabla y se encontraron varias similitudes (Tabla 2). Parte del conjunto de los sensores de tres pines muestran dos configuraciones que se denominaron como 1 y 2 (marcadas en rojo y azul, respectivamente). Estas dos configuraciones son la disposición espejo, es decir, basta con rotar el componente 180° para obtener la misma configuración. Esto permite asignar una sola distribución de pines que puede utilizarse para ambos tipos de módulos. Por otro lado, se encontró que algunos módulos de 4 pines tienen un arreglo común de conexiones. Esta fue denominada la número 3 (marcada con color verde).

Antes de iniciar el diseño del circuito impreso se realizaron algunas pruebas de software y funcionamiento de la pantalla OLED y algunos sensores. Se probaron las bibliotecas para uso de la pantalla OLED, y sensores que utilizan el protocolo de

comunicación serial I2C como el sensor de presión atmosférica BMP180, y el sensor de temperatura y humedad ATH10. También se probó el encendido de LEDS, la conexión con un sensor de temperatura DS18B20, tanto en módulo como en versión cableada, y el funcionamiento de un pequeño servomotor de corriente directa.

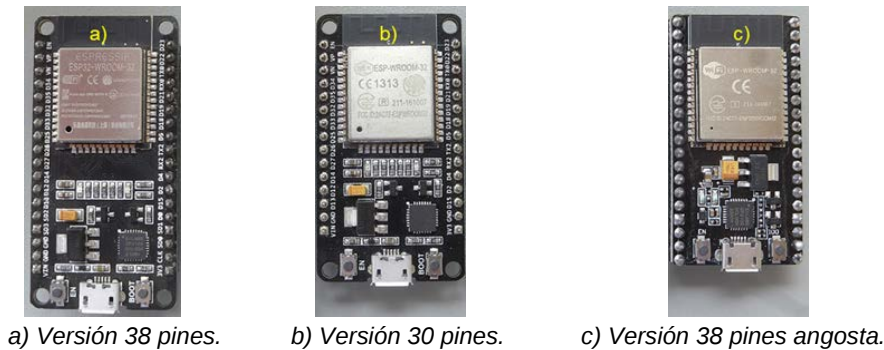
Tabla 2 Distribución de pines de algunos sensores y actuadores comerciales.

TIPO	Sensor	Pin 1	Pin 2	Pin 3	Pin 4
1	DHT11	GND	VCC	S_salida	
1	Switch MOD	GND	VCC	S_salida	
1	LDR	GND	VCC	S_salida	
1	Relay	GND	VCC	S_salida	
1	Servomotor	GND	VCC	S_salida	
2	Humedad suelo	S_salida	VCC	GND	
2	DS18B20	S_salida	VCC	GND	
2	Push button	S_salida	VCC	GND	
2	IR Receptor	S_salida	VCC	GND	
2	Buzzer	S_salida	VCC	GND	
2	OPTO-interruptor	S_salida	VCC	GND	
2	Seguidor de línea	S_salida	VCC	GND	
3	Micrófono	D_salida	VCC	GND	A_salida
3	Switch Reed	D_salida	VCC	GND	A_salida
3	Termistor NTC	D_salida	VCC	GND	A_salida
3	Hall lineal	D_salida	VCC	GND	A_salida
3	Sensor de flama	D_salida	VCC	GND	A_salida
3	Sensor de tacto	D_salida	VCC	GND	A_salida
	Joystick	SW	VRY	VRX	VCC
	IR Transmisor	GND	NC	Entrada	
	Láser diodo	GND	VCC	S_salida	
	LED RGB	GND	Azul	Verde	Rojo
	LED Bicolor	Amarillo	Rojo	GND	
	LED de 7 colores	NC	GND	S_salida	
	Detector obstáculo	Enable	S_salida	VCC	GND
	Sensor de gas	VCC	GND	D_salida	A_salida

Fuente: elaboración propia

Después de realizar las pruebas preliminares con la tarjeta protoboard, se procedió a diseñar la placa de circuito impreso, tomando en cuenta la versión particular de módulo ESP32 que se adquirió. En el mercado es posible encontrar diferentes versiones de tarjetas basadas en ESP32, las cuales difieren en tamaño, en el número de pines (30, 36 o 38), en el ancho y en el tipo de conector USB. Algunos ejemplos se muestran en la Figura 7. Se solicitó la compra de una versión de 38 pines, y la que el proveedor nos entregó aparece en la Figura 7c, la cual es más angosta y corta que la opción de la Figura 7a. Las tres opciones mostradas cuentan con conector microUSB con chip de interfaz CP2102. El montaje de los

componentes en el circuito impreso, así como la evaluación de los resultados se presentan en las secciones siguientes.

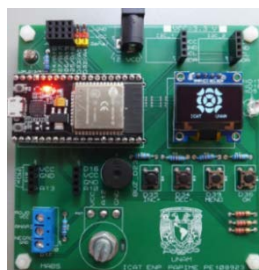


Fuente: elaboración propia

Figura 7 Variaciones de la tarjeta ESP32.

3. Resultados

En la Figura 8 se presenta una imagen de la tarjeta desarrollada. La placa ESP32 está montada sobre dos *headers*, por lo que puede reemplazarse fácilmente en caso necesario.



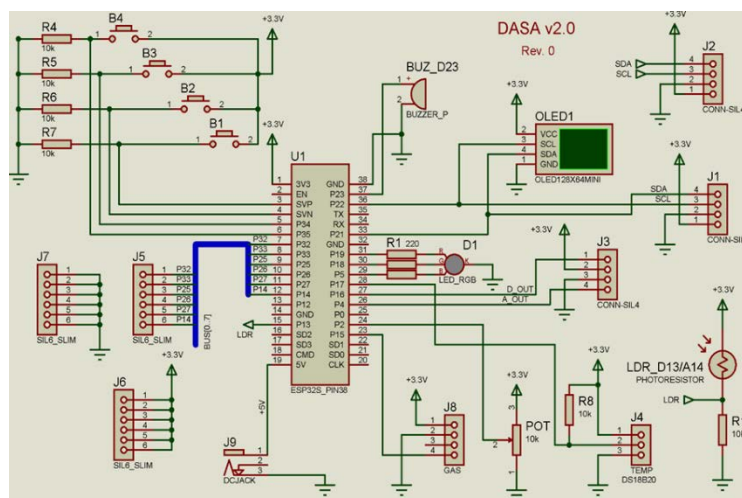
Fuente: elaboración propia

Figura 8 La tarjeta desarrollada basada en ESP32.

En el diseño se incluyeron las siguientes características: cuatro interruptores de presión, LED RGB, pantalla OLED de 128x64 *pixeles*, zumbador pasivo, fotorresistencia, potenciómetro, conector jack para alimentación externa y 11 conectores de expansión. Con estos se puede añadir: un sensor de temperatura digital DS18B20, un sensor de gas de tipo MQ, dos sensores de interfaz I2C, un sensor de 4 pines, y 6 sensores de 3 pines. La conexión a estos 6 sensores se dividió en 4 conectores receptáculos y 2 conectores pines. Para el sensor de

temperatura DS18B20 se utiliza un bloque con tornillos para facilitar el uso de la versión sumergible del sensor, que se comercializa con cables sueltos, pero con el conductor descubierto y estañado. El resto de los conectores son receptáculos de 4 pines. En la serigrafía se incluye información relativa al canal analógico o digital utilizado, y el orden de conexión de los pines. Los botones incluyen en su parte inferior las leyendas: INC+, INC-, MENÚ y OK; que pueden servir como base para la elaboración de interfaces de comunicación con el usuario.

En la Figura 9 se muestra el diagrama esquemático de la tarjeta diseñada. No es posible utilizar la totalidad de los pines del módulo ESP32, debido a que algunos de ellos tienen funciones asignadas. Por ejemplo, los pines SD0, SD1, SD2, SD3, CLK y CMD están dedicados a la comunicación con la memoria FLASH de la placa [Santos, 2023]. Otros tienen funciones sensibles al proceso de arranque (boot), por lo que es más conveniente no utilizarlos. En caso de que se conecten simultáneamente el eliminador de baterías (en el jack de alimentación de CD) y la alimentación por el puerto USB, no se producirá una condición de corto circuito debido a los dispositivos de manejo de alimentación incluidos en la placa del ESP32.



Fuente: elaboración propia

Figura 9 Diagrama esquemático de la tarjeta de aprendizaje para ESP32.

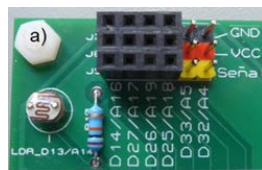
En la Tabla 3, se enlista la asignación de pines del módulo ESP32. Las líneas de comunicación I2C_SDA e I2C_SCK se conectan a la pantalla OLED y a dos conectores para sensores externos.

Tabla 3 Asignación de puertos del módulo ESP32.

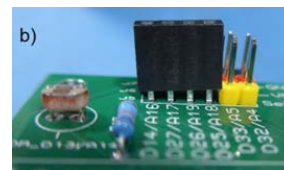
Puerto	Función	Puerto	Función
SVP/ADC0	Botón 1	P2/ADC12	Potenciómetro
SVN/ADC3	Botón 2	P0/ADC11	No se usa
P34/ADC6	Botón 3	P4/ADC10	A_OUT
P35/ADC7	Botón 4	P16	D_OUT
P32/ADC4	Sensor 3 pines	P17	DS18B20
P33/ADC5	Sensor 3 pines	P5	LED_B
P25/ADC18	Sensor 3 pines	P18	LED_G
P26/ADC19	Sensor 3 pines	P19	LED_R
P27/ADC17	Sensor 3 pines	P21	I2C_SDA
P14/ADC16	Sensor 3 pines	RX	No se usa
P12/ADC15	No se usa	TX	No se usa
P13/ADC14	Fotorresistencia	P22	I2C_SCL
P15/ADC13	Sensor de gas	P23	BUZZER

Fuente: elaboración propia

La tarjeta diseñada es compatible con algunos sensores que se comercializan en kits de 37, por lo que son de fácil adquisición en tiendas físicas y electrónicas, y son de bajo costo. Los sensores compatibles (analógicos o digitales) deberán tener una secuencia de pines: señal, VCC, GND; o la secuencia: señal analógica, GND, VCC, señal digital. En la Figura 10a se muestra una imagen de los receptáculos y los pines compatibles con la primera secuencia. También se observa en la Figura 10b algunos de los problemas de ensamble que se deberán corregir en una versión futura. Dentro del kit de 37 sensores se tiene un sensor digital de temperatura DS18B20 (Figura 11). Por otro lado, también se pueden conectar sensores que operen mediante una interfaz de comunicación I2C (con secuencia de pines: SDA, SCL, GND, VDD), como el BMP180 (sensor de presión atmosférica y temperatura) y el AHT10 (sensor de temperatura y humedad), que se presentan en la Figura 12. En la Figura 13, se muestran un ejemplo de aplicación de la tarjeta a la detección de gas mediante un sensor MQ-2.



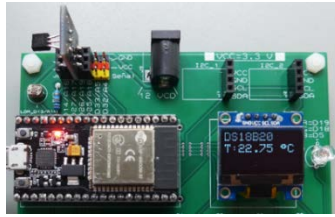
a) Disposición del conector.



b) Problemas de ensamble.

Fuente: elaboración propia

Figura 10 Conexión para seis sensores de 3 pines.



Fuente: elaboración propia

Figura 11 Utilización de un módulo de bajo costo DS18B20.



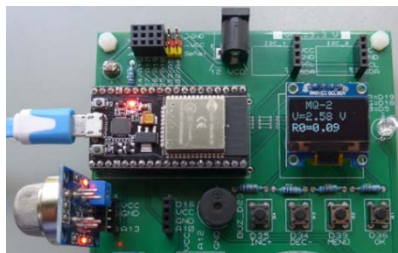
a) Sensor BMP180.



b) Sensor AHT10.

Fuente: elaboración propia

Figura 12 Ejemplo de uso de los módulos BMP180 y AHT10.



Fuente: elaboración propia

Figura 13 Ejemplo de utilización de un sensor de gas MQ-2.

Para aprovechar la capacidad de conexión WiFi y Bluetooth del módulo ESP32, se incluyeron algunos dispositivos que pueden utilizarse para el desarrollo de aplicaciones de internet de las cosas. Entre ellos: una fotorresistencia, un zumbador pasivo, 3 LEDs, un LED RGB, además de una conexión dedicada para insertar un sensor de gas, entre otras posibilidades.

4. Discusión

El módulo ESP32 no es la única alternativa para desarrollar material didáctico orientado al internet de las cosas. Entre las opciones que existen se encuentran la tarjeta Raspberry Pi Zero W y la Arduino UNO Wi-Fi Rev 4. Sin embargo, el módulo

ESP32 es el más económico y su programación se puede realizar desde el ambiente Arduino. La tarjeta diseñada presenta algunas características y ventajas con respecto a las alternativas existentes en el mercado. La ventaja principal es la compatibilidad directa con sensores comerciales de bajo costo, los cuales se pueden insertar directamente en 11 conectores y receptáculos.

La tarjeta desarrollada permite la elaboración de prácticas sin la utilización de componentes adicionales y, por otro lado, sus conectores son compatibles con sensores comerciales de bajo costo, lo que le proporciona una gran versatilidad y facilidad de uso, algo que no se encuentra en la mayoría de las tarjetas diseñadas alrededor del módulo ESP32.

5. Conclusiones

Se ha presentado el diseño e implementación de una tarjeta de aprendizaje basada en un módulo ESP32, la cual cuenta con una pantalla OLED, un LED RGB, un zumbador pasivo, una fotorresistencia, un potenciómetro, cuatro botones de presión y 11 conectores para insertar módulos comerciales de sensores analógicos, y sensores digitales con comunicación I2C. Es posible conectar directamente la mayor parte de los sensores que se comercializan en kits de 37 sensores, lo cual reduce el costo y vuelve al diseño versátil para el desarrollo de prácticas de enseñanza de programación, introducción a la electrónica, y al desarrollo de aplicaciones para el internet de las cosas, debido a la capacidad de conexión inalámbrica (Wi-Fi y bluetooth) del módulo ESP32. Representa una opción distinta a muchas tarjetas comerciales, que suelen ser tarjetas de conexiones. Está pensado para que sus usuarios puedan familiarizarse rápidamente con el uso del microcontrolador ESP32, y se reduzca el tiempo requerido para hacer conexiones. Esto último también permite que los profesores minimicen el tiempo empleado en revisar las prácticas de los estudiantes.

Para su programación se puede utilizar el ambiente de desarrollo Arduino IDE y su lenguaje de programación. Esto facilita su aprendizaje debido a la gran cantidad de recursos y referencias disponibles en internet, lo cual incluye un sitio desarrollado por los autores [Bañuelos, 2023].

Como parte del trabajo futuro se contempla el desarrollo de un manual de prácticas para la tarjeta de aprendizaje. Después de una pequeña prueba piloto se planea la construcción de un lote de 100 piezas.

Este trabajo fue desarrollado con apoyo de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico de la UNAM mediante el proyecto PAPIME PE108923 Desarrollo de material didáctico para la asignatura de Informática aplicada a la ciencia y a la industria.

6. Bibliografía y Referencias

- [1] Abdiakhmetova, Z. et al. Using of microcontrollers for student learning process, *KazNU Bulletin. Mathematics, Mechanics, Computer Science Series*, 122(2), pp. 110–118, 2023.
- [2] Asim, Z. *Hands-on ESP32 with Arduino IDE*. Packt Publishing, 2023.
- [3] Bañuelos, M.A., Pacheco, M. and Villegas, R.G. Módulos escudo para la enseñanza de Informática Aplicada a la Ciencia y a la Industria con Arduino, SOMI XXXV Congreso de Instrumentación, p. 12, 2021.
- [4] Bluino, B., (2024). ESP32 IoT Starter Shield Ver 2.0, PCBWay. https://www.pcbway.com/project/shareproject/ESP32_IoT_Starter_Shield_e66a92ab.html.
- [5] Dogan, I. and Ahmet, I. *The official ESP32 book*. Elektor International Media B. V., 2017.
- [6] Expressif, (2019). ESP32-LyraT-Mini V1.2, Espressif Systems (Shanghai) CO., LTD. Available at: <https://tinyurl.com/Espressif>.
- [7] Ga, S.-H. et al. Science Teachers' Technical Difficulties in Using Physical Computing and the Internet of Things into School Science Inquiry, *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 17, pp. 1849–1858, 2024.
- [8] Handson Technology. *ESP32 Expansion Board*. Handson Technology, 2023.
- [9] Jamaludin, H. Designing ESP32 Base Shield Board for IoT Application, *Politeknik & Kolej Komuniti Journal of Engineering and Technology*, 5(1), pp. 130–137, 2020.
- [10] Olimex. *ESP32-EVB User manual*. Olimex, Ltd., 2024.

- [11] Ramlee, M.H. et al. Applying microcontroller kits in future electronic learning, in AIP Conference Proceedings, 2024.
- [12] Santos, R. and Santos, S. Ultimate guide for Arduino sensors/modules. Random Nerd Tutorials, 2018.
- [13] Santos, R. and Santos, S. Learn ESP32 with Arduino IDE. Second. Random Nerd Tutorials, 2023.
- [14] SeeedStudio. Grove Beginner Kit For Arduino User Manual. Seeed Technology, 2020.
- [15] Tselegkaridis, S. and Sapounidis, T. Exploring Students' Hands-On Performance, Attitudes, and Usability with Arduino Modular Boards, Information (Switzerland), 15(2), 2024.