

UNIVERSIDAD TÉCNICA NACIONAL

SEDE CENTRAL



CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA HIDROPONICO CONTROLADO MEDIANTE  
SENSORES DE MANERA REMOTA

Por

Massiel de los Ángeles Angulo Mejía

Angie Paola Marchena Mondell

Diciembre, 2023



## *Resumen*

*Angulo Mejía, Massiel de los Ángeles; Marchena Mondell, Angie Paola. Universidad Técnica Nacional 2023. Implementación de un sistema hidropónico controlado mediante sensores de manera remota. Profesores: Ing. Jeffry Mendoza Robles; Ing. Esteban Rojas Jiménez.*

Este proyecto es sobre un sistema hidropónico controlado mediante sensores de manera remota. Permitiendo el monitoreo de un sistema hidropónico mediante un control automático de la temperatura y humedad.

Durante el diagnóstico se presentaron limitaciones como la exclusión de medidas avanzadas de seguridad y la omisión del diseño de la aplicación web.

Acerca de las soluciones propuestas están; el uso del microcontrolador Arduino Mega, para el control de los sensores de temperatura, humedad y luminosidad, el controlador ESP8266 NODEMCU para incrementar la funcionalidad y simplifica las conexiones con los sensores. y el relé para el control de riego.

Se sugiere emplear librerías como Scikit-learn y Keras para implementar sistemas de aprendizaje automatizado esto para realizar predicciones en base los datos.

El proyecto propone una solución innovadora, tecnológica y eficiente para el monitoreo y control de sistemas hidropónicos, contemplando las limitaciones y por ende ofreciendo recomendaciones para tener futuras mejoras.

## *Dedicatoria*

*Angie:*

*A mis padres y hermanos, que me brindaron todo su apoyo para estudiar en la Universidad técnica Nacional a pesar de la lejanía y costos que se tenía.*

*A Emanuel Esquivel López, quien siempre ha estado para mí y me ha dado todo su apoyo en los momentos más difíciles.*

*A los profesores de la carrera de ingeniería electrónica, quienes han contribuido enormemente en el proceso de formación de la carrera.*

*Massiel:*

*A mi madre por no haberme dejado sola a pesar de las circunstancias, a mis amigos de siempre, a mi Lui por darme la luz que alegra mis días y a mi mejor amiga de toda la vida, mi hermana, te quiero mucho Lauren.*

*Gracias por darme un motivo para levantarme y seguir adelante.*

## Tabla de contenidos

Introducción .....	10
Generalidades de la organización.....	10
Descripción del tema de estudio.....	11
Justificación.....	12
Planteamiento del problema .....	13
Alcances .....	14
Limitaciones.....	14
Objetivos .....	15
Objetivo General .....	15
Objetivos Específicos .....	15
Marco Teórico.....	16
Hidroponía.....	16
Contexto histórico.....	17
Ventajas del cultivo hidropónico.....	18
Desventajas del cultivo hidropónico.....	18
Cultivo de lechuga. ....	19
Técnica de cultivo hidropónico:.....	21
Técnica de cultivo NFT .....	21
Sensores controladores para cultivos .....	22
Sensor de <i>humedad</i> .....	22
Sensor <i>de temperatura</i> .....	28
Sensor de <i>luminosidad</i> .....	36
Actuadores .....	39
Wifi ESP8266 esp-01 .....	44
Software .....	45
REST API .....	45

Visualización de datos estadísticos recopilados mediante sensores .....	48
Plataforma visualizadora de datos estadísticos .....	48
Conexiones I2C para la comunicación entre controladores.....	48
Estrategia de metodología.....	49
Procesos de desarrollo.....	49
Mecanismos para la evaluación del proyecto .....	51
Entregables y validaciones .....	51
Cronograma.....	52
Desarrollo.....	53
Diagrama de arquitectura .....	53
API .....	54
Sistema electrónico .....	55
Visualizador .....	57
Discusión de resultados.....	59
Comunicación ESP8266 con API .....	59
Comunicación plataforma visualizadora con API.....	61
Datos obtenidos desde el API.....	61
Datos obtenidos en el visualizador.....	62
Conclusiones .....	65
Recomendaciones .....	65
Anexos .....	66
Anexo A: Datos técnicos de los componentes .....	66
Anexo B: Sistema eléctrico construido .....	77
Referencias.....	78

## Índice de tablas

Tabla 1. Datos del FC-28. ....	22
Tabla 2. Datos del Adafruit Si7021. ....	24
Tabla 3. Datos del SHT-311. ....	26
Tabla 4. Datos del LM35. ....	28
Tabla 5. Datos del TMP76. ....	29
Tabla 6. Datos del TC74. ....	30
Tabla 7. Datos del DHT11. ....	31
Tabla 8. Datos del DHT22. ....	33
Tabla 9. Datos del SHT15.....	35
Tabla 10. Datos del TSL2561. ....	36
Tabla 11. Datos del KY-018. ....	38
Tabla 12. Gastos económicos del proyecto.....	50

## Índice de figuras

Figura 1. Cultivo hidropónico.....	16
Figura 2. Los Jardines Colgantes de Babilonia por Ferdinand Knab. ....	17
Figura 3. Verde lechuga romana.....	19
Figura 4. Lechuga Batavia Rubia – 1000 semillas .....	19
Figura 5. (Lechuga china (莴笋).....	20
Figura 6. La lechuga (Lactuca sativa var. capitata) .....	20
Figura 7. El sistema NFT.....	21
Figura 8. Glyduino-higrómetro de suelo de FC-28, módulo de detección de humedad, Sensor de agua y humedad para Arduino. ....	23
Figura 9. Adafruit Si7021 Temperature & Humidity Sensor Breakout Board - STEMMA QT. ....	25
Figura 10. Sensor Temperatura SHT31. ....	27
Figura 11. Sensor de temperatura Arduino LM35.....	28
Figura 12. Sensor de temperatura Arduino TMP36.....	29
Figura 13. Sensor de temperatura Arduino TC74.....	30
Figura 14. Sensor temperatura Arduino DHT11.....	32
Figura 15. Sensor temperatura Arduino DHT22.....	34
Figura 16. Sensor SHT15.....	35
Figura 17.TSL2561 Luminosity Sensor.....	36
Figura 18. Módulo Sensor De Luz Fotorresistivo Ldr.....	37
Figura 19. Sensor Fotorresistor KEYES KY-018. ....	38
Figura 20. Bomba de Agua Sumergible para Hidroponía.....	39
Figura 21. Bomba centrífuga. ....	40
Figura 22. Bomba peristáltica.....	41
Figura 23. Electroválvula y controlador de válvula digital.....	42
Figura 24. RELE 5V 2 CANALES CON OPTOACOPLADOR. ....	43
Figura 25. Especificaciones del Microcontrolador ESP8266. ....	44
Figura 26.MODULO WIFI ESP8266 ESP-01.....	44
Figura 27. Hoja de datos del LM393. ....	66
Figura 28. Esquemático del YL-38.....	67
Figura 29. Hoja de datos del Adafruit Si702. ....	68
Figura 30. Datos eléctricos del Adafruit Si7021.....	69



Figura 31. Hoja de datos de la linea de componentes SHT-3x.....	70
Figura 32. Especificaciones eléctricas de la línea SHT-3X.....	71
Figura 33. Hoja de datos del TSL2560 y del TSL2561.....	72
Figura 34. Hoja de datos del TSL2560 y del TSL2561.....	73
Figura 35. Hoja de datos del KY-018.....	74
Figura 36. Pines de salida del KY-018.....	74
Figura 37. Hoja de datos del ESP8266X .....	75
Figura 38. Hoja de datos del ESP8266X – parámetros.....	76

# Introducción

## Generalidades de la organización

La organización para la cual se desea desarrollar el proyecto es la Universidad Técnica Nacional, especialmente para el área de electrónica. La robótica forma parte del proyecto de extensión académica en el área de robótica, así como también va de línea con el proyecto con los proyectos de investigación en robótica que actualmente desarrollo la escuela de electrónica. En primera instancia, se plantea un proyecto que integre áreas del conocimiento de electrónica y programación para estimular la participación de estudiantes en proyectos académicos.

## Visión

Ser la Universidad pública de Costa Rica, referente académica nacional e internacional, de la educación técnica, científica, humanista y tecnológica, comprometida con modelos de excelencia, calidad y transparencia.

## Misión

Contribuir a la equidad de oportunidades y la transformación integral del país, por medio del quehacer académico, la formación técnica, humanista, inclusiva e innovadora, centrada en el aprendizaje.

## Valores

**Excelencia:** Búsqueda constante del grado máximo de calidad en el ser y hacer de la institución.

**Solidaridad:** Ser consciente de las necesidades de los demás para apoyo y colaboración recíproca, tanto nivel personal como institucional

**Integridad:** Nos conducimos siempre bajo las reglas, principios y propósitos éticos fundamentados en los derechos humanos que rigen el funcionamiento y la misión de la Universidad.

**Compromiso:** Ponemos de manera permanente, nuestras capacidades al máximo, para cumplir con los objetivos y tareas encomendados con el fin de contribuir positivamente a través de la eficiencia, productividad, satisfacción y éxito de la institución y de la sociedad

**Innovación:** Concretar ideas capaces de romper paradigmas y crear alternativas ante los grandes temas y retos de nuestro tiempo.

## Descripción del tema de estudio

El tema principal de estudio es la automatización de procesos agrícolas, especialmente la hidroponía, con esto hacemos referencia a la aplicación de la tecnología en el proceso de automatización, en especial la electrónica y el software.

Se define automatización como los procesos que se realizan de manera automática en la industria.

La hidroponía es un sistema de cultivo que hace crecer las plantas en una solución de agua con nutrientes, además, se requiere ajustar de forma adecuada la relación luz, temperatura y agua que reciben las plantas.

En la electrónica nos referimos a la manera en el cual podemos monitorear variables físicas en sistemas agrícolas hidropónicos, utilizando sistemas de sensores para crear ambientes controlados.

La característica fundamental de la electrónica es que se pueden tomar variables físicas y conviértelas en pulsos eléctricos, para poder identificar las medidas de manera más precisa.

A nivel de software tenemos en cuenta que podemos realizar una recopilación de la información proveniente del hardware, para visualizarla de manera más entendible para un humano, nos brinda la posibilidad de comunicarse con el hardware de manera más sencilla, sin tener mucha complejidad y con resultados realmente completos, a diferencia de los procesos manuales que muchas veces no se toman en cuenta los números y se hace solamente utilizando la intuición y observaciones.

Según (Fundación Seres Operantes) la hidroponía se puede clasificar en:

“Hidroponía de Alta Tecnología: está orientada al mercado, para maximizar la relación costo/beneficio del empresario, por la venta de su producción. Emplea alta tecnología e inversión, con poca mano de obra. Se ubica en áreas rurales.

Hidroponía Simplificada: el objetivo principal, es que la familia pueda auto-alimentarse y generar algún pequeño ingreso. Se adapta a poblaciones carenciadas, ya que emplea una tecnología sencilla, requiere poca inversión y utiliza mano de obra familiar. Generalmente es urbana o peri-urbana, aunque también se puede utilizar en zonas rurales. (Caldeyro Stajano, Cajamarca, Erazo, Aucatoma, & Izquierdo)”.

Esta misma también es parte de las tendencias de lo que es la agricultura de precisión,

que se basa en hacer uso de toda herramienta tecnológica y aplicarlo a esta área. Herramientas como lo son los drones, Internet de las Cosas, geolocalización o GPS o hasta lo que es el big data, todo esto con la finalidad de obtener mayor rendimiento de los cultivos.

## **Justificación**

Este proyecto surge a través de la búsqueda de soluciones a los problemas diarios en la agricultura, es aquí donde surge como respuesta la hidroponía. Esta iniciativa se basa en la implementación de un sistema electrónico en un cultivo hidropónico que está encargado de monitorear de manera automatizada factores importantes para el desarrollo adecuado de las plantas, como son la temperatura, la humedad y la luz, además de que es capaz de controlar las variables de temperatura y humedad.

Como propósito principal del proyecto esta el mejorar las condiciones en donde se encuentran los cultivos hidropónicos, utilizando la tecnología que permita el monitoreo y el control de algunas variables críticas. Esto con la finalidad de obtener las condiciones óptimas para el desarrollo adecuado de los cultivos, asimismo de que se desea mejorar la eficiencia y aprovechar al máximo este método para incrementar la producción en este método de cultivo.

En cuanto a la delimitación, hace referencia a la identificación de manera precisa de lo que serán los parámetros de medición que en este proyecto serán los de temperatura, humedad y luz y la relevancia que estos tienen. La medición precisa de estos parámetros es importante ya que nos asegura una obtención de datos para lo que será una investigación enfocada y específica de estos, lo que nos brinda la posibilidad de poder realizar una evaluación detallada sobre como estos parámetros influyen en el rendimiento del cultivo hidropónico.

La relevancia de este proyecto se basa en la introducción de tecnología que mejora el manejo de sistemas hidropónicos. Cuando se cuantifican los parámetros mencionados se hace un aporte a obtener una comprensión más profunda acerca de como este afecta en el crecimiento de las plantas, lo que nos da la posibilidad de permitir realizar ajustes personalizados con mayor precisión. Cabe añadir que además de proporcionar herramientas tecnológicas con el propósito de que mejoren la eficiencia del cultivo de igual manera se busca que vaya de la mano el fomentar practicas amigables con el medio ambiente. En conclusión, este proyecto de investigación sobre la implementación de un sistema hidropónico controlado mediante sensores de manera remota busca un método para que los cultivos mediante la hidroponía puedan aprovecharse al máximo con el menor presupuesto posible para que sea accesible para la mayoría de las personas.

## **Planteamiento del problema**

Este proyecto abordará las necesidades que presentes los cultivos para llevar un sistema de automatización, a través de la comunicación afectiva y segura utilizando sistemas de hardware y software, ambos comunicadores son excelentes para el buen control automatizado, como la información generada por el hardware y de almacenamiento de esta. Con protocolos de comunicación, garantizará la transmisión confiable de datos, al igual que el almacenamiento en una base de datos, donde se envíe una notificación de control de la humedad, temperatura, etc.

Esto tiene gran importancia debido a que los valores captados por los sensores ayudan a controlar con alta precisión el estado de las plantas y con esto se puede prevenir el deterioro de este, y también se puede contribuir a una optimización en la producción de cultivos y poder generar mejoras en las plantas.

Por otra parte, conseguiremos un histórico de valores recomendados para las plantas y con este poder para nuevas plantaciones tener ya valores recomendados para el correcto crecimiento de las plantas.

Es posible desarrollar un control automático controlando las variables de temperatura, humedad e incidencia de luz aplicados a procesos hidropónicos para garantizar un 80% de producción de las plantas.

## **Alcances**

Los alcances de este proyecto incluyen el diseño e implementación de un sistema de comunicación entre hardware y software para la transmisión de datos que permitan extraer información del entorno del área de hidroponía.

El hardware tiene la presencia de sensores de temperatura, humedad e impacto de radiación solar. Además, se desarrollará una base de datos para el almacenamiento de variables relevantes. El proyecto se enfocará en la fase de desarrollo y pruebas, con el objetivo de demostrar la viabilidad de la comunicación, funcionalidad del sistema con automatización de procesos en el área de hidroponía.

## **Limitaciones**

Este proyecto tiene ciertas limitaciones, entre las cuáles se incluyen:

- La implementación de medidas de seguridad avanzadas, como cifrado de datos, quedará fuera del alcance de este proyecto y podría requerir futuras mejoras.
- La conectividad a Internet y la infraestructura de red necesaria se considerarán como parte del entorno operativo, y no se modificarán como parte de este proyecto.
- El sistema se centra en la automatización para un sistema hidropónico pequeño de una planta, por lo que se deja de lado las pruebas en sistemas grandes debido a su valor económico.
- Para el control de datos no se tomará en cuenta el diseño de aplicaciones web, para la visualización solo se centra en el almacenaje de los datos mediante el API.

# Objetivos

## Objetivo General

Implementar un sistema electrónico que permita monitoreo de un sistema hidropónico mediante un control automático de la temperatura, humedad y luz.

## Objetivos Específicos

- Seleccionar los sensores y actuadores considerando las propiedades físicas y eléctricas con el fin de monitorear variables físicas en los cultivos hidropónicos.
- Diseñar un software y hardware y que integre los sensores y actuadores para el sistema hidropónico utilizando un microcontrolador Arduino Mega.
- Programar una rutina en Python usando librerías de Scikit Learn para el análisis de datos del sistema y análisis estadísticos a partir del cultivo.
- Desarrollar una API encargada de recibir los datos de los sensores y poder transmitir valores de manera remota con los sistemas de hardware y software para ser utilizada por distintas aplicaciones web o móviles.
- Constatar la obtención de los datos para luego proceder a la verificación de estos.

## Marco Teórico

Para este apartado, se hará saber los diversos equipos, componentes utilizados en este proyecto, asimismo algunos temas alusivos a la agricultura considerados para el proyecto. Para empezar, se dará a conocer una parte del perfil agronómico del proyecto enfocados a la hidropónica y seguidamente con los elementos, componentes y materiales involucrados, sus funciones y justificación de porque fueron utilizados.

### Hidroponía

Según (Barbado, 2005) se define la hidroponía como “Ciencia del cultivo de plantas sin uso de tierra, en un medio inerte al que se le agrega una solución nutriente que contiene todos los elementos esenciales requeridos por la planta para su crecimiento normal.” Se dice también que este medio en donde se hace el uso para el cultivo puede ser arena gruesa, turba, vermiculita, aserrín, entre otros.

Este método es de gran aporte ya que es muy útil en lugares donde casi no hay mucho espacio. También cabe resaltar que al cambiar la tierra normal por un medio estéril hace que la presencia de plagas y enfermedades que contiene la tierra se haga completamente nula. Lo que hace que la atención a las plantas sea mucho más sencilla.



*Figura 1. Cultivo hidropónico.*

*Fuente: (Las 5W del cultivo hidropónico: Qué, cómo, cuándo, quién, dónde y por qué, 2023)*



## Contexto histórico

Esta técnica no es moderna, sino ancestral. Según (Barbado, 2005) data lo siguiente: “Los Aztecas cultivaban maíz en barcos en el lago Texcoco en lo que hoy es Ciudad de México. Los Jardines Colgantes de Babilonia utilizaban técnicas hidropónicas al aprovechar el agua de canales. Estas prácticas existían en China, India, Egipto y la cultura maya.” Como se mencionó anteriormente, este método suele ser utilizado comercialmente en países con bastante escasez de suelo y agua.

En la Segunda Guerra Mundial, Hawái fue un punto clave para abastecerse gracias al cultivo hidropónico. La ocupación de Estados Unidos en Japón ocasionó un desarrollo de sistema hidropónico avanzado.

Otro ejemplo notable de la hidroponía es la NASA donde esta realizó investigaciones extensivas para su CELSS (del inglés Controlled Ecological Life Support System) “Sistema de Soporte de Vida Ecológica Controlada”. La NASA ha utilizado esta tecnología desde hace aproximadamente 30 años para hacer pruebas para alimentar a los astronautas. Hoy en día las naves espaciales viajan, realizan misiones rotativas con duraciones de los seis meses o un año. Los tripulantes durante ese tiempo comen productos vegetales cultivados en el espacio. Siendo esta tecnología CELSS realizada con base en Marte (Beltrano, 2015) como se citó en (Ramírez Guzmán, 2017).



*Figura 2. Los Jardines Colgantes de Babilonia por Ferdinand Knab.*  
Fuente: (holandés, 2016)

### **Ventajas del cultivo hidropónico.**

Según (Barbado, 2005) estas son algunas de las ventajas a resaltar:

- Perfecto control del pH.
- Humedad uniforme.
- Cultivos libres de parásitos, bacterias, hongos y contaminación.
- Reducción de costos de producción.
- Permite la producción de semilla certificada.
- Más altos rendimientos por unidad de superficie.
- Alto porcentaje de automatización.

### **Desventajas del cultivo hidropónico.**

(Rodríguez y Chang, 2017) como se citó en (Ramírez Guzmán, 2017) resalta las siguientes desventajas:

- Elevados costos de producción e instalación inicial.
- Desconocimiento del manejo agronómico.
- Falta de experiencia.

### Cultivo de lechuga.

Planta que forma parte de la familia Compositae, su nombre científico es *Lactuca sativa* L. (Gutierrez Tlahque, 2011)

(FAO-RLC, 2000) cómo se citó en (Huanca Huisa, 2019) menciona los siguientes grupos de variedades de lechuga:

- **L. sativa var. *Longifolia* Lam:** Se aprovechan por sus hojas. Por su adaptación a una estación determinada se pueden clasificar como lechugas de invierno las (Romana larga encarnada, Roja, Verde de invierno, Gorrion, Inverna) y lechugas de primer verano (Blanca de parís, Corsano, Rubia de verano)



Figura 3. Verde lechuga romana.

Fuente: (Voenny, 2019)



Figura 4. Lechuga Batavia Rubia – 1000 semillas

Fuente: (Lechuga Batavia Rubia - 1000 semillas, s. f.)

- **L. sativa var. *Intybacea Hort*:** Poseen hojas abiertas y sueltas, aunque en estado avanzado de madurez pueden formar un pequeño cogollo interior.
- **L. sativa var. *Augustana Irish*:** Caracterizadas por su tallo comestible, hojas puntiagudas y lanceoladas. Producidas solo en China.



Figura 5. (Lechuga china (莴笋))

Fuente: (Lechuga china (莴笋), 2020)

- **L. sativa var. *Capitata Lam*:** Cogollo apretado de hojas. Sus hojas suelen ser de forma ancha, orbicular (lechugas acogolladas)



Figura 6. La lechuga (*Lactuca sativa* var. *capitata*)

Fuente: (Frey, 2007)

## Técnica de cultivo hidropónico:

En la hidroponía existen varias técnicas empleadas, cada una desarrollada para adaptarse a distintos escenarios y difieren en como reciben su solución nutritiva,

- **Técnica de película nutritiva (NFT)**, consiste en un sistema que hace circular el agua a través de tubos de PVC usando un sistema automatizado.
- **Raíz flotante**, en esta técnica la planta queda por encima del agua, en una posición flotante, mientras que las raíces se encuentran tocando el agua. Son colocadas en contenedores.
- **Sustrato de sólido**, se sostiene con el sustrato, que aporta humedad y drena el agua que aporta la solución nutritiva
- **Aeropónica**, sistema donde la planta queda flotando y estas son pulverizadas de manera constante con el agua, la cual esta misma lleva con sí, los nutrientes necesarios de la planta

### Técnica de cultivo NFT

La técnica NFT los cultivos, tiene una serie de orificios a lo largo de una tubería PVC, donde una pequeña parte del agua cubra las raíces, esto permite la absorción de agua y los nutrientes disueltos. Este método permite el ingreso de oxígeno por medio de la mezcla de agua que se encuentra en movimiento con el aire y a través de las raíces, que no están dentro del agua.

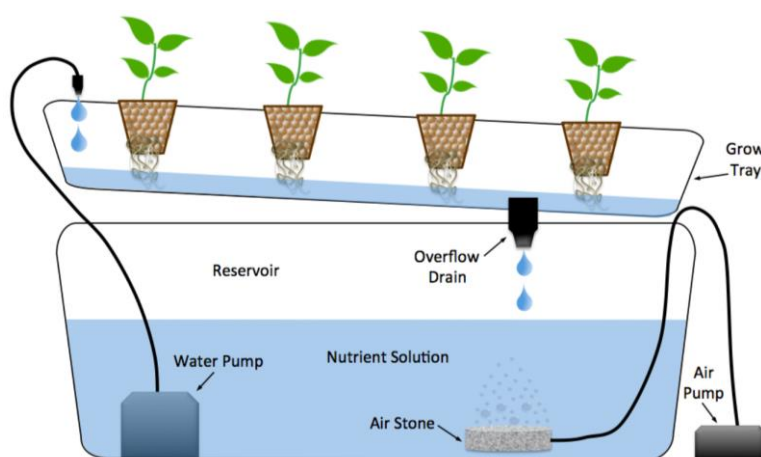


Figura 7. El sistema NFT.

Fuente: (El sistema NFT, s. f.)

## Sensores controladores para cultivos

A continuación, se describen los sensores más relevantes en la agricultura enfocada a la hidroponía

### Sensor de *humedad*

#### FC-28

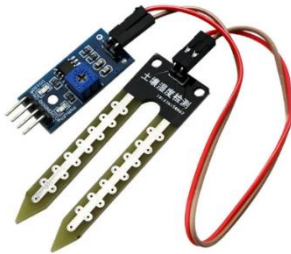
- Su función principal es controlar la humedad en donde se encuentran las plantas, tiene buen funcionamiento con estas.
- No tiene la precisión suficiente para realizar una medición absoluta de la humedad del suelo
- Devuelve una tensión proporcional al nivel de humedad medido.
- Con seguridad se puede saber el estado del lugar en donde se encuentra la planta.
- Puntas muy resistentes a la oxidación.
- La aplicación de un pequeño voltaje entre los terminales del módulo YL-69 hará que fluya una corriente a través de él que depende esencialmente de la resistencia de tierra y en gran medida de la humedad. Por tanto, cuando aumenta la humedad, aumenta la corriente, y cuando disminuye la humedad, disminuye la corriente.

Características	Descripción
Tipo de sensor	Resistivo
Rango de medición	20% a 53% RH
Precisión	Variable
Voltaje de alimentación	3,3V a 5V
Interfaz de salida	Analógica
Compatibilidad con Arduino	si
Tiempo de respuesta	Segundos
Protección contra humedad	Se necesita protección adicional para evitar daños
Protección contra agua	Se necesita protección adicional para evitar daños
Calibración	Calibrado de fábrica. (puede requerir calibración adicional)
Consumo de corriente	20mA

Tabla 1. Datos del FC-28.

Fuente: Elaboración propia.

Para más información, en el anexo A se adjuntan las hojas de datos del LM393 y el esquemático del YL-93.



*Figura 8. Glyduino-higrómetro de suelo de FC-28, módulo de detección de humedad, Sensor de agua y humedad para Arduino.*

*Fuente: (Glyduino-higrómetro de suelo de FC-28, módulo de detección de humedad, Sensor de agua y humedad para Arduino, s. f.)*

## Adafruit Si7021

- Viene calibrado de fábrica.
- Cuenta con una librería especialmente diseñados para estos tipos de sensores de temperatura y humedad, esto con la finalidad de que se pueda enviar los datos a la pantalla OLED y a la vez mandarse a la plataforma IoT.
- Los datos y comandos se encuentran en dos bytes, 16 bits que se comparten mediante I2C.

A continuación, se presenta una tabla con algunos datos técnicos del sensor

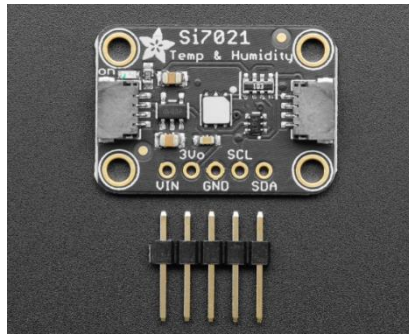
Característica (Adafruit Si7021)	Descripción
Tipo de sensor	Capacitivo (humedad)/resistivo (temperatura)
Rango de temperatura	-40°C a +85°C
Rango de humedad	0% a 100% RH
Precisión de la temperatura	±0.4°C (máx.)
Precisión de la humedad	±3% RH (máx.)
Comunicación	I2C
Tiempo respuesta	8 segundos
Voltaje de alimentación	1.9 a 3.6V
Consumo de corriente	150 uA Activo - 60nA Reserva
Resolución de la temperatura	14 bits
Resolución de la humedad	12 bits
Calibración	Calibrado de fabrica
Biblioteca de Arduino compatible	Adafruit_Si7021, SparkFun_Si7021
Protección contra humedad	Si
Protección contra agua	No

Tabla 2. Datos del Adafruit Si7021.

Fuente: Elaboración propia

Para más información en el Anexo A se adjunta su respectiva hoja de datos.





*Figura 9. Adafruit Si7021 Temperature & Humidity Sensor Breakout Board - STEMMA QT.*

*Fuente: (Adafruit si7021 temperature & humidity sensor breakout board - STEMMA QT., s. f.)*

## SHT31

- Salida digital de alta precisión.
- Cuenta con compensación de temperatura.
- Utiliza el principio capacitivo para la medición de humedad y un termistor para medición de temperatura.

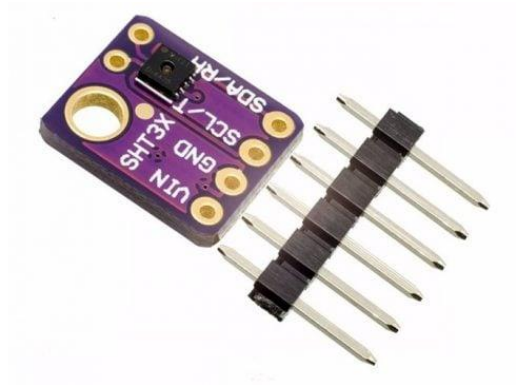
A continuación, se presenta una tabla con algunos datos técnicos del sensor:

Característica (SHT31)	Descripción
Tipo de sensor	Capacitivo (humedad)/resistivo (temperatura)
Rango de temperatura	-40°C a +125°C
Rango de humedad	0% a 100% RH
Precisión de la temperatura	±0.3°C (máx.)
Precisión de la humedad	±2% RH (máx.)
Comunicación	I2C
Tiempo respuesta	8 segundos
Consumo de corriente	< 1.5 mA
Voltaje de alimentación	2.15 a 5.5V
Resolución de la temperatura	14 bits
Resolución de la humedad	12 bits
Calibración	Calibrado de fabrica
Biblioteca de Arduino compatible	Adafruit_SHT31, SparkFun_SHT31
Protección contra humedad	Si
Protección contra agua	No

Tabla 3. Datos del SHT-311.

Fuente: Elaboración propia.

Para más información consultarla hoja de datos ubicado en el Anexo A.



*Figura 10. Sensor Temperatura SHT31.*

*Fuente: (Sensor Temperatura SH31, s. f.)*

## Sensor de temperatura

### LM35

- Sensor analógico.
- Unidad de medida son los grados Celsius, por lo que no se tiene que hacer ningún tipo de conversión ni calibración.
- Su salida es analógica (Proporciona un voltaje proporcional a la de temperatura)

Se presenta una tabla con los datos técnicos del sensor:

Característica (LM35)	Descripción
Rango de temperatura	-55°C a +150°C
Sensibilidad	10 mV/°C
Precisión	±0.5°C (±0.25°C calibrado)
Tensión de alimentación	4 V a 30 V
Consumo de corriente	60 µA
Tiempo de respuesta	Variable
Salida analógica	10 mV/°C
Resolución	0.1°C (100 mV)
Protección contra agua	requerida (no tiene)
Calibración	Si se pide de fabrica
Tipo de alimentación	Analógica

Tabla 4. Datos del LM35.

Fuente: Elaboración propia.

Para más información consultarla hoja de datos ubicado en el Anexo A.



Figura 11. Sensor de temperatura Arduino LM35.

Fuente: (del Valle, 2019, p. 2)

**TMP36**

- Sensor analógico.
- Mide temperaturas bajo cero, pero a diferencia del LM35 este no requiere de voltajes negativos.
- El voltaje y la temperatura aumentan a una velocidad similar. Esto es por la caída de tensión entre la base y el emisor de un transistor.
- Genera una señal analógica directamente proporcional a temperatura.

Se presenta una tabla con los datos técnicos del sensor:

Característica (TMP76)	Descripción
Rango de temperatura	-40°C a +125°C
Sensibilidad	10 mV/°C
Precisión	±2 °C (calibrado opcional)
Tensión de alimentación	2.7 V a 5.5 V
Consumo de corriente	50 µA
Tiempo de respuesta	–
Salida analógica	10 mV/°C
Resolución	750 mV + 10 mV/°C
Protección contra agua	requerida (no tiene)
Calibración	Si se pide de fabrica

*Tabla 5. Datos del TMP76.*

*Fuente: Elaboración propia.*

Para más información consultarla hoja de datos ubicado en el Anexo A.



*Figura 12. Sensor de temperatura Arduino TMP36.*

Fuente: (del Valle, 2019, p. 3)

## TC74.

- Sensor digital.
- Adecuado para aplicaciones de bajo coste.
- Capaz de convertir la temperatura dentro del propio sensor y transmitirla a través de una palabra digital de 8-bit.
- El sensor viene con la numeración escrita en este mismo, este nos indica la dirección a la que tenemos que dirigirnos desde nuestro Arduino.
- Se pueden utilizar hasta ocho de estos sensores a la vez con el Arduino.
- Si varía el valor nominal, la precisión puede degradarse a 1 °C/V.

Se presenta una tabla con los datos técnicos del sensor:

Característica (TC74)	Descripción
Tipo de sensor	Digital (temperatura)
Rango de temperatura	TC74
Resolución	1 °C (8 bits)
Precisión	±2°C de +25°C a 85°C y ±3°C de 0°C a 125°C
Tensión de alimentación	2.7V a 5.5V
Corriente de alimentación	200µA (máx)
Comunicación	I2C, SMBus
Tiempo de respuesta	ms

Tabla 6. Datos del TC74.

Fuente: Elaboración propia.

Para más información consultarla hoja de datos ubicado en el Anexo A.

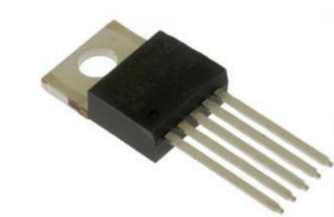


Figura 13. Sensor de temperatura Arduino TC74.

Fuente: (del Valle, 2019, p. 4)

## DHT11.

Características:

- Sensor digital.
- Hay de dos tipos, uno sin su resistencia de pull-up ( $5\text{ K}\Omega$  según las especificaciones técnicas) y otro que contiene todo lo necesario para conectar funcionar de manera adecuada.
- Su rango de temperatura va de apenas de los  $0^{\circ}\text{C}$  a  $50^{\circ}\text{C}$ .
- Realiza la conversión a grados centígrados de manera interna.

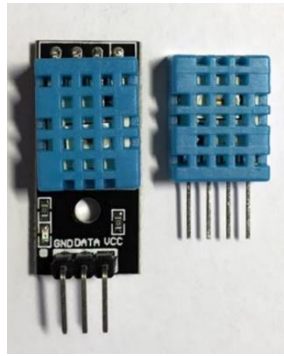
Se presenta una tabla con los datos técnicos del sensor:

Característica (DHT11)	Descripción
Tipo de sensor	Capacitivo (humedad)/resistivo (temperatura)
Comunicación	Single-bus (bidireccional)
Rango de temperatura	$0^{\circ}\text{C}$ a $50^{\circ}\text{C}$
Rango de humedad	20% a 90% RH
Precisión de la temperatura	$25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$
Precisión de la humedad	$0^{\circ}\text{C}$ y $50^{\circ}\text{C} \pm 5\% \text{ RH}$
Consumo de corriente	2,5mA (máx)
Voltaje de alimentación	3,5 a 5V
Resolución de la temperatura	$1^{\circ}\text{C}$ (8-bit)
Resolución de la humedad	1% RH
Tiempo de respuesta	6 a 15 segundos
Calibración	No ajustable
Biblioteca de Arduino compatible	DHT.h
Protección contra agua	No

Tabla 7. Datos del DHT11.

Fuente: Elaboración propia.

Para más información consultarla hoja de datos ubicado en el Anexo A.



*Figura 14. Sensor temperatura Arduino DHT11*

Fuente: (del Valle, 2019, p. 5)



## DHT22.

- Sensor digital.
- También hay de dos tipos, uno sin la resistencia pull-up y otro con todo lo necesario para funcionar.

Se presenta una tabla con los datos técnicos del sensor:

Característica (DHT22)	Descripción
Tipo de sensor	Capacitivo (humedad)/resistivo (temperatura)
Comunicación	Single-bus (bidireccional)
Rango de temperatura	-40°C a 80°C dht22
Rango de humedad	0% a 100% RH
Precisión de la temperatura	±0,5°C
Precisión de la humedad	± 2% RH (máx ±5% RH)
Consumo de corriente	2,5mA (máx)
Voltaje de alimentación	3V a 5V
Resolución de la temperatura	0,1°C
Resolución de la humedad	0,1%
Tiempo de respuesta	<10 segundos
Calibración	ajustable
Biblioteca de Arduino compatible	DHT.h
Protección contra agua	No

Tabla 8. Datos del DHT22.

Fuente: Elaboración propia.

Para más información consultarla hoja de datos ubicado en el Anexo A.



*Figura 15. Sensor temperatura Arduino DHT22.*

Fuente: (del Valle, 2019, p. 6)

## SHT15:

- Sensor digital completamente calibrado.

Característica (SHT15)	Descripción
Rango de humedad	0% a 100% RH
Rango de temperatura	-40 °C a 123, 8° C
Precisión de humedad	±2%
Precisión de temperatura	± 0,3 ° C a 25°C
Resolución de humedad	0,04%
Resolución de temperatura	(14 bits)
Comunicación	I2C
Voltaje de alimentación	2.4V a 5.5V
Corriente de alimentación	80 µA
Tasa de muestreo	1 muestra x segundo
Salida	Digital (12 bits)

Tabla 9. Datos del SHT15.

Fuente: Elaboración propia.

Para más información consultarla hoja de datos ubicado en el Anexo A.



Figura 16. Sensor SHT15.

Fuente: (del Valle, 2019, p.7)

## Sensor de *luminosidad*

### TSL2561

- Convertidor de luz a señal digital.
- Contiene dos sensores, cada uno está asociado a un conversor ADC (análogo – digital) que lo que hace es integrar corrientes de los dos fotodiodos que contiene.
- De estos dos sensores, fotodiodos, hay uno que es sensible tanto a la luz que es visible ante el ojo humano, como a la infrarroja.
- Cuando finaliza el ciclo de conversión el resultado se pasa a los registros de datos del canal 0 y 1 respectivamente. Después el dispositivo automáticamente comienza el siguiente ciclo de integración.
- Resolución de 16 bits.

Se presenta una tabla con los datos técnicos del sensor:

Característica (TSL2561)	Descripción
<b>Tipo de sensor</b>	Fotorresistencia
<b>Tensión de alimentación</b>	3 a 6V
<b>Tiempo respuesta</b>	ms
<b>Resolución</b>	0.01V (16 bits)
<b>Rango de resistencia LDR</b>	0 a 6M $\Omega$
<b>Rango de sensibilidad lumínica</b>	0 a 2500 LUX

Tabla 10. Datos del TSL2561.

Fuente: Elaboración propia.

Para más información consultarla hoja de datos ubicado en el Anexo A.

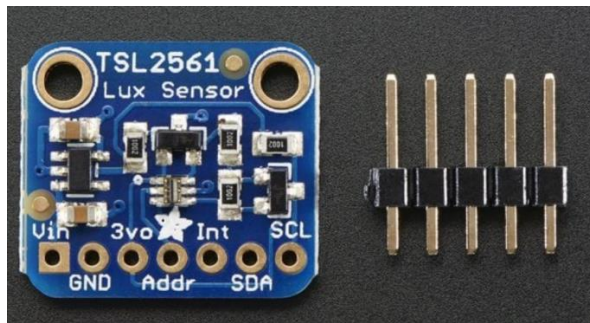


Figura 17. TSL2561 Luminosity Sensor.

Fuente: (TSL2561 Luminosity Sensor, 2023)

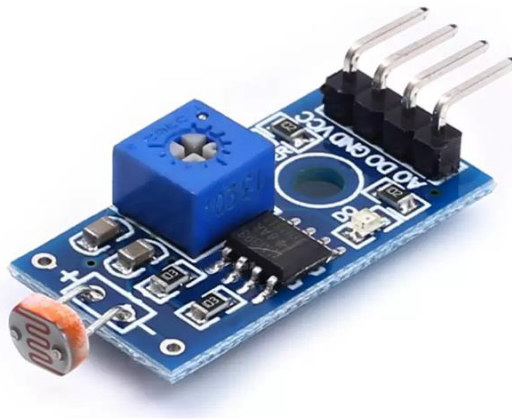
## Módulo de sensor de luz de Arduino.

Dicho modulo se compone de tres partes que son: un divisor de voltaje, el LM393 que cumple con comparar la tensión en el divisor y el umbral establecido en el potenciómetro.

Características de la fotorresistencia (LDR):

- Entre mayor luz menor resistencia.
- Esta foto resistencia suele ser más sensible a la luz que cae en la categoría de espectro visible es decir 400 y 700 nm.
- Su valor en ohmios no varía de forma instantánea cuando cambia la luminosidad. El tiempo de cambio en ohmios no siempre es igual.
- Su tiempo de respuesta típico es de aproximadamente 0.1 segundos.
- Los valores típicos de la resistencia del LDR suelen variar mucho según su modelo. Un ejemplo puede ser más de 1 millón de ohmios en la oscuridad y menos de 100 ohmios con luz.
- Su salida es digital. (0 y 1)

Para más información consultarla hoja de datos ubicado en el Anexo A.



*Figura 18. Módulo Sensor De Luz, Fotorresistivo Ldr.*

*Fuente: (TSL2561 Luminosity Sensor, 2023)*

### KY-018.

- Su funcionamiento se basa en el LDR.
- El voltaje de salida es proporcional a la luz que incide sobre él.

Se presenta una tabla con los datos técnicos del sensor:

Característica (KY-018)	Descripción
Rango de medida (sensibilidad)	0 - 40,000 lux
Resolución	0,002 lux (máx) (16 bits luz visible - 16 bits luz infrarroja)
Comunicación	I2C
Tiempo respuesta	400 $\mu$ s
Rango espectral	300 nm a 1000 nm
Consumo de corriente (activo)	0,6 mA
Consumo de corriente (reposo)	15 $\mu$ A
Tensión de alimentación	2,7 a 3,6 V

Tabla 11. Datos del KY-018.

Fuente: Elaboración propia.

Para más información consultarla hoja de datos ubicado en el Anexo A.

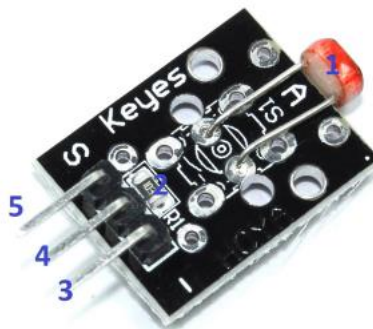


Figura 19. Sensor Fotorresistor KEYES KY-018.

Fuente: (Shadapuri, 2018, p. 37)

## Actuadores

Hace referencia a la cualquier acción que permita que a su respectiva parte realizar una acción. Algunos ejemplos son los cilindros hidráulicos, bombas de agua, electroválvulas, servomotores, de paso, de corriente directa, cilindros neumáticos, etc.

A continuación, se brinda información acerca de las bombas de agua y electroválvulas con énfasis en el área de hidroponía:

- Bombas de agua.

Estas tienen un papel crucial en el cultivo mediante la técnica NFT ya que la técnica de este es que el sistema haga circular el agua con la solución. Entonces el método viable es el uso de estas mismas. Hay de diferentes tipos para usarse en el ámbito de la hidroponía, como las siguientes: las bombas sumergibles de flujo constante, bombas de agua centrifuga de baja potencia, bomba peristáltica, bomba de agua de velocidad variable y entre otras.

- Bombas sumergibles.

Estas son diseñadas especialmente para sumergirse completamente en el fluido (en este caso el agua o la solución) que se va a encontrar bombeando.

En este caso lo que es el motor se encuentra sellado en una carcasa impermeable y se acopla directamente al cuerpo de la bomba. Mueve el impulsor o mecanismo de la bomba, moviendo el agua desde elevaciones más bajas a las más altas.



*Figura 20. Bomba de Agua Sumergible para Hidroponía.*

*Fuente: (Hydrofarm - Bomba de Agua Sumergible para Hidroponía, s.f.)*

- Bombas de agua centrífuga.

Es aquella que contiene uno o más impulsores giratorios que generan el movimiento de un fluido, principalmente debido a la acción de una fuerza centrífuga, es decir lo que hace es mover el agua hacia las afueras desde el centro de la bomba. La bomba rotatoria es la que contiene impulsores giratorios que fuerzan el líquido a través de la bomba por desplazamiento positivo.

Con respecto al motor eléctrico, este es el que activa el impulsor, un disco con palas curvas. Cuando el motor gira el impulsor es donde se ocasiona la fuerza centrífuga.



*Figura 21. Bomba centrífuga.*

*Fuente: (Top 5 beneficios de una bomba centrífuga, s. f.)*



- Bombas peristálticas.

Es de tipo desplazamiento positivo, su funcionamiento consiste en utilizar la acción de compresión y relajación de un tubo flexible producir el flujo líquido. Este conforma un rotor con rodillos que lo que hacen es girar sobre el tubo, aplicando presión que impulsa el líquido de manera controlada y sin contaminación. Este diseño hace que la bomba peristáltica sea adecuada para aplicaciones que requieren un flujo preciso, continuo, y sin contacto directo con los componentes internos de la bomba.



*Figura 22. Bomba peristáltica.*

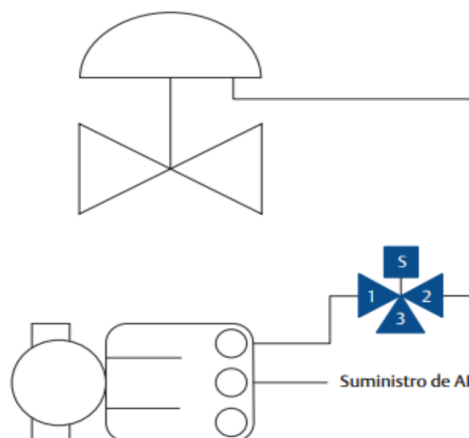
*Fuente: (Gowe pequeñas bomba peristáltica oem19, s. f.)*

- Electroválvulas.

También conocidas como válvula accionada por solenoide o SOV. (Alulema, 2022) dice lo siguiente: “Es una válvula electromagnética de apertura/cierre controlado por una señal eléctrica discreta emitida por un sistema de control. Las aplicaciones de válvula de control habitualmente utilizan una electroválvula entre el controlador de válvula digital y la válvula de control (Figura 23). La SOV recibirá alimentación mientras el controlador de válvula digital controle la válvula de control. La señal neumática del controlador de válvula digital pasa por la SOV durante el funcionamiento normal.”

Su funcionamiento se resume en que dependiendo si se encuentran activadas o no, dejan pasar el líquido o impiden su paso.

En el ámbito de la hidroponía estas son muy importantes en la parte de la entrega de la solución de manera automatizada, y así controlarla para una mejor distribución.



*Figura 23. Electroválvula y controlador de válvula digital.*

Fuente: (Alulema, 2022)

Los recomendables a utilizar serían los compatibles con Arduino, es decir, las electroválvulas de 12V DC, 24V DC y 5V DC.

### **Relé con optoacoplador.**

El funcionamiento del relé consiste en un interruptor que se basa su control en la corriente de una bobina.

El funcionamiento del optoacoplador es el de encargarse de realizar transmisiones de señales de un circuito a otro, con beneficios como el aislamiento eléctrico con total efectividad.



*Figura 24. RELE 5V 2 CANALES CON OPTOACOPLADOR.*

*Fuente: (RELE 5V 2 CANALES CON OPTOACOPLADOR, s. f.)*

En el caso de la hidroponía estos son muy útiles ya que nos permiten el control del encendido y apagado de la bomba, esto con la finalidad de mantener niveles precisos de solución nutritiva para los cultivos.

## Wifi ESP8266 esp-01

Se ofrece como puente entre los microcontroladores que existen hasta el momento o cuentan con la capacidad de realizar aplicaciones independientes. Es un módulo WiFi flexible que facilita la conexión a través la comunicación serie y lo que es la programación de comandos AT.

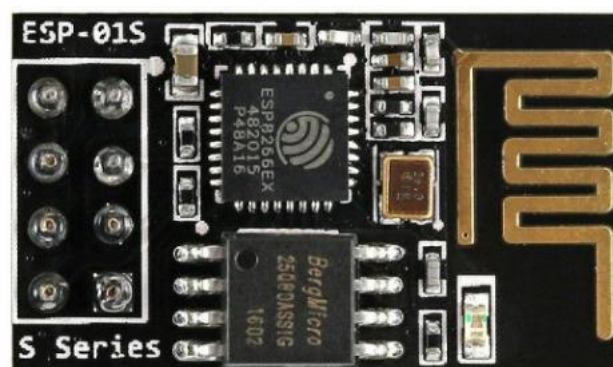
Este puede trabajar en 2 modos: lo que es la estación WiFi o lo que es el punto de acceso. Cuando trabaja como estación WiFi se conecta a a la red más cercana. Cuando estamos en modo punto de acceso se utiliza cuando queremos crear una red propia en lo que es el chip a la cual nos podremos conectar directamente.

Voltaje	3.3 V
Consumo de corriente	10 $\mu$ A – 170 mA
Memoria Flash	16 MB máx. (512 k normal)
Procesador	Tensilica L106 32 bit
Velocidad del procesador	80 – 160 MHz
GPIOs	17
Analógico a digital	1 entrada con 10 bit de resolución (1024 valores)
Soporte de 802.11	b/g/n/d/e/i/k/r
Máximas conexiones simultáneas	5

*Figura 25. Especificaciones del Microcontrolador ESP8266.*

Fuente: (ECORFAN, 2017)

Para más información consultarla hoja de datos ubicado en el Anexo A.



*Figura 26. MODULO WIFI ESP8266 ESP-01.*

Fuente: (MODULO WIFI ESP8266 ESP-01, s. f.)

## **Software**

En el ámbito ingenieril, es de suma importancia conocer todas las ventajas que ofrece la tecnología actualmente, ya que se ofrece numerosas posibilidades en el análisis de la información, por lo en esta parte del marco teórico se mencionan las partes más importantes involucradas en el proceso de comunicaciones eléctricas con software, para esto se realiza una integración mediante interfaz programable, también llamada API.

### **REST API**

En la actualidad, la comunicación web y transferencia de datos de manera remota es algo totalmente necesario en la actualidad, facilita la conexión entre diferentes sistemas y ayuda de manera muy completa la integración para sistemas de hardware complejos, como lo son los sistemas de monitoreo meteorológico, o bien sistemas de control de sensores.

El termino API por sus siglas “interfaz de programación de aplicaciones” la cual es un conjunto de protocolos web encargados de establecer la comunicación entre 2 sistemas de manera directa, un servidor el cual tiene la lógica de negocio, como un cliente o consumidor, el cual realiza toda clase de consultas al servicio o API.

Como ventaja notable del uso de las API en la actualidad, cae en la posibilidad total de tener la complejidad de cara al API, con la particularidad de que el lenguaje el cual se programa no depende de los clientes los cuales se conecten a consumir la información, ya que solamente se exponen los puntos de entrada al API, y los clientes pueden acceder sin ningún tipo de problema.

El protocolo HTTP, es el motor principal para la conexión entre dos sistemas que desean compartir información, la comunicación en la actualidad es realizada mediante un formato específico llamado JSON, este permite establecer envíos de datos de manera más eficiente y con mayor flexibilidad, con esto se garantiza una organización as eficiente de los datos, como también la generación de consultas web mejor formuladas. Además de este formato de datos, puede ser utilizado el XML, como desventaja se tiene que el XML es el peso que puede llegar a tener ya que es una estructura más compleja de utilizar.

## Formato JSON

Por sus siglas en inglés (JavaScript Object Notation), se encarga de almacenar de manera estructurada la información que se desea enviar entre un cliente y un servidor, en este caso sería un cliente enviando o recibiendo información de un API, con el fin de establecer comunicación efectiva entre dos plataformas complejas.

Un ejemplo de un JSON es el siguiente:

```
[
  {
    "type": "hum",
    "num": 2,
    "values": [
      [{"v": 233.19}, {"v": 3.2}],
      [{"v": 226.2}, {"v": 0.3}]
    ]
  },
  {
    "type": "temp",
    "num": 1,
    "values": [
      [{"v": 27.1}, {"v": 40.3}]
    ]
  }
]
```

*Ilustración 1. Ejemplo del formato JSON.*

Fuente: Elaboración propia

El ejemplo anterior posee la estructura básica de un JSON, en este caso se tiene la información de dos sensores, el sensor uno, temperatura y el segundo sensor es el encargado de la humedad, como se observa es un formato comprensible a simple vista y con capacidad de acceder a la información mediante software.

## **Consulta REST API**

Como se vio en el formato de los datos JSON, es necesario realizar un envío completo de la información mediante HTTP, por lo cual las API disponen de distintos puntos de acceso para poder realizar consultas a información o bien enviar información referente al proyecto en el cual se encuentra.

Al usar HTTP, necesario conocer las distintas peticiones HTTP básicas utilizadas en la actualidad.

- GET: Este método es el encargado de solicitar un recurso específico al API, únicamente sirve para extraer información.
- HEAD: Es utilizado para extraer similar al GET, pero restringiendo la respuesta únicamente a la cabecera del HTTP.
- POST: Utilizado para enviar información al API, normalmente utilizado para guardar la información en el API o bien causar algún efecto en las conexiones de este.
- PUT: Se utiliza normalmente para realizar actualizaciones de registros existentes, a diferencia del POST.
- DELETE: Permite eliminar registros específicos en el API.

## **POSTMAN**

Es una herramienta especializada para realizar pruebas a servicios web, es muy utilizado para probar la funcionalidad de los distintos puntos de acceso a un API, utilizando las diferentes peticiones HTTP, tiene una interfaz muy completa y con fácil utilización por parte de los usuarios (Muyón, Montaluisa, 2020)

## **Visualización de datos estadísticos recopilados mediante sensores**

### **Lenguaje Python**

Es un lenguaje de programación muy utilizado, ya que puede obtenerse de manera gratuita en internet, lo cual es una principal ventaja, sin tener que utilizar algún tipo de licencia asociada. Además, las aplicaciones de Python se prestan para la contribución para varios dispositivos, que posean librerías de código abierto, lo cual ayuda a la modificación de estas, gracias a la capacidad de este tipo de lenguaje.

Este proyecto mostraremos el uso de librerías como: Matplotlib (generar graficas), FastAPI (es un marco web moderno, rápido de alto rendimiento para crear API con Python).

### **Plataforma visualizadora de datos estadísticos**

Con la visualización se puede comprender los datos generados por los sensores, donde estos datos obtenidos serán registrados a través de una tabla y serán mostrados a través de una gráfica donde se comprenderá mejor el comportamiento de los sensores que se utilizan.

Por lo tanto, para una buena visualización, se optó por Python ya que es muy utilizado para el análisis de datos, posee integraciones con inteligencia artificial, con aprendizaje automático, entre otros...

Comunicaciones

### **Conexiones I2C para la comunicación entre controladores.**

I2C (Inter-IC (Inter Integrated Circuits)) es utilizado para conectar circuitos integrados. Este es un bus que cuenta con múltiples maestros, lo que significa que se pueden conectar varios chips al mismo bus y que todos ellos pueden actuar como maestro, solo con iniciar la transferencia de datos. Ejemplos:

**Audio y películas:** Como son monitores de computadora, los televisores, videocaseteras, amplificadores, etc.

**Comunicación entre controladores:** Un sistema que cuente con la conexión entre varios controladores esto con la finalidad de la transferencia de datos y el control de dispositivos dentro de una plataforma compleja.

**Sensores y los periféricos:** Sensores como de luminosidad, oxígeno, temperatura, humedad estos conectados a microcontroladores o controladores nos permite la adquisición de datos y control.



## **Estrategia de metodología**

En la siguiente sección se realiza una introducción a la metodología para llevar a cabo el correcto desarrollo del proyecto.

### **Procesos de desarrollo**

El éxito de proyectos, en el área informática, aumenta en gran medida gracias a una correcta planificación. Generar un modelo que se ajuste a todos los requerimientos y que se tenga en cuenta la gestión del cambio son necesarios para poder garantizar un éxito mayor en todos los tipos de proyectos

Para la selección del modelo en el proyecto es necesario realizar un análisis de pautas importantes.

- Se dispone de 8 semanas para la conclusión del proyecto.
- Se toman en cuenta posibles limitantes de hardware.
- Es un proyecto de dos personas.
- Se realiza una entrega final.

### **Metodología de desarrollo del proyecto**

La primera fase consiste en la investigación general sobre la hidroponía y sistemas automatizados, esto con el fin de aprender cuál es la mejor opción en la elaboración general del proyecto, conocer cuáles son las variables más importantes para tomar en cuenta para poder generar una automatización y control de los datos generados por un sistema hidropónico.

Con la primera etapa lista, es necesario para proceder con el proyecto contar con la investigación profunda de sensores utilizados para el control de variables, las cuales son definidas en la primera etapa, también se procede con la compra de los componentes necesarios, además de que en esta segunda etapa se realiza toda la investigación de posibles sensores, sus usos, datos comunes y calibraciones necesarias.

RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	SUBTOTAL
<b>TMP36 - Temperature Sensor</b>	Unidad	2	\$1.95	\$3.90 (¢2068.60)
<b>Light Sensor Module</b>	Unidad	2	\$ 1.95	\$3.90 (¢2068.60)
<b>Temperature Sensor with Steel Head</b>	Unidad	1	\$ 1.95	\$1.95 (¢1034.30)
<b>Soil Humidity Sensor</b>	Unidad	2	\$ 1.95	\$3.90 (¢2068.60)
<b>ESP8266 Serial WIFI Module</b>	Unidad	1	\$ 8.95	\$8.95 (¢4747.18)
<b>USB Programmer for the ESP8266 CH340G</b>	Unidad	1	\$4.95	\$4.95 (¢2625.53)
<b>20 Jumpers H-H</b>	Unidad	1	\$2.27	\$2.27 (¢1204.03)
<b>20 Jumpers H-M</b>	Unidad	1	\$ 2.27	\$ 2.27 (¢1204.03)
<b>Modulo Relay 2CH 5VDC 10 A con Octoacoplador</b>	Unidad	1	\$6.62	\$6.62 (¢3511.32)
<b>Impuestos</b>	Unidad	1	\$5.66	\$5.66 (¢2980.91)
<b>Envío</b>	Unidad	1	\$25.47	\$25.47 (¢13509.57)
SUBTOTAL				\$67.57 (¢35839.87)
IMPREVISTOS				\$ -
TOTAL				\$67.57 (¢35839.87)

Tabla 12. Gastos económicos del proyecto.

Fuente: Elaboración propia.

La tercera etapa está enfocada al software, principalmente a realizar las diversas conexiones entre el hardware y el usuario final, con esto se realiza toda la búsqueda de librerías a utilizar, interfaz para visualizar los datos, así como también la generación del código básico, para poder iniciar las pequeñas pruebas de los sensores.

La cuarta parte la compone el API, ya que es parte fundamental en la comunicación, por lo creación de una API para poder dar seguimiento a los datos es de suma importancia, así como también debido a que brinda conexiones a más sistemas.

Por último, queda la etapa de conexiones y pruebas, en esta etapa es necesario tener los sistemas funcionando correctamente por separado, esto para tener una correcta integración y con la detección de posibles errores.

## Mecanismos para la evaluación del proyecto

### Entregables y validaciones

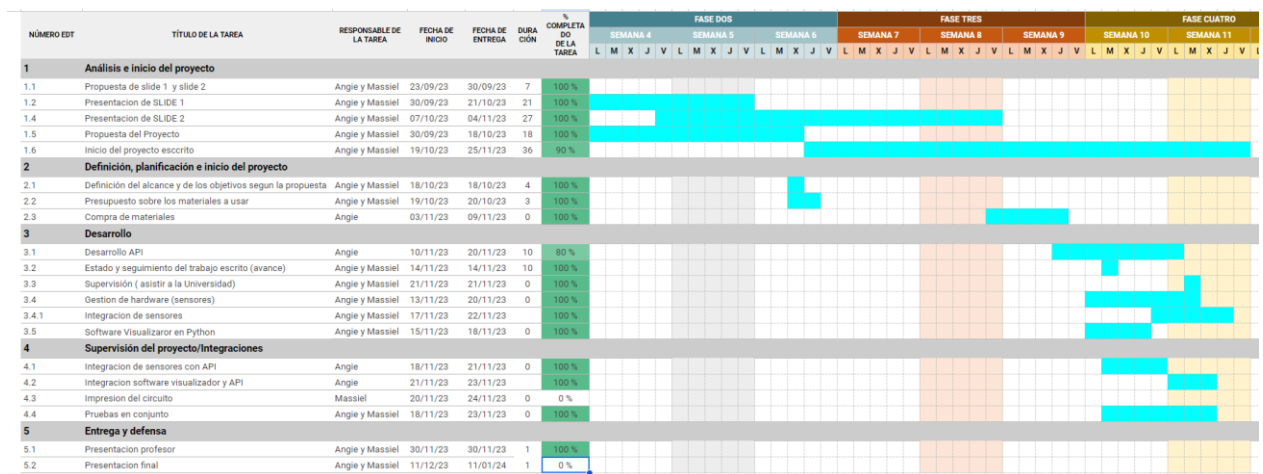
Para el proyecto se realiza una serie de validaciones para comprobar la funcionalidad del proyecto, por ende, es necesario establecer los criterios para evaluar los entregables respectivos.

Entregable	Validación
Sistema integrado de sensores y actuadores para medir las variables físicas de temperatura, humedad y luminosidad y controlar sus estados.	El sistema electrónico cumple con las cualidades descritas en el proyecto, el cual tiene la capacidad de medir las 3 variables seleccionadas para el proyecto.
API capaz de recibir información exterior de los sensores, y poder ser consumida para la visualización de datos.	Existe el código del API, además de que funciona correctamente, con posibilidad de corroborar mediante software de terceros como POSTMAN.
Aplicación básica capaz de visualizar los datos de los sensores, con el fin de elaborar diagramas y gráficos para realizar análisis de los datos.	Es posible la visualización de los datos recopilados en el API de los sensores, los cuales son capaces de agruparse en diagramas para su estudio.

*Tabla 13. Entregables finales del proyecto.*

Fuente: Elaboración propia.

## Cronograma



*Figura 27. Diagrama de Gantt.*

Fuente: Elaboración propia.

El cronograma final se puede ver en el siguiente enlace

- Diagrama de Gantt

## Desarrollo

En esta sección se analizará la generalidad del proyecto con un diagrama de arquitectura el cual explica cómo está compuesto todo el sistema, así como también los resultados obtenidos por el sistema en conjunto.

### Diagrama de arquitectura

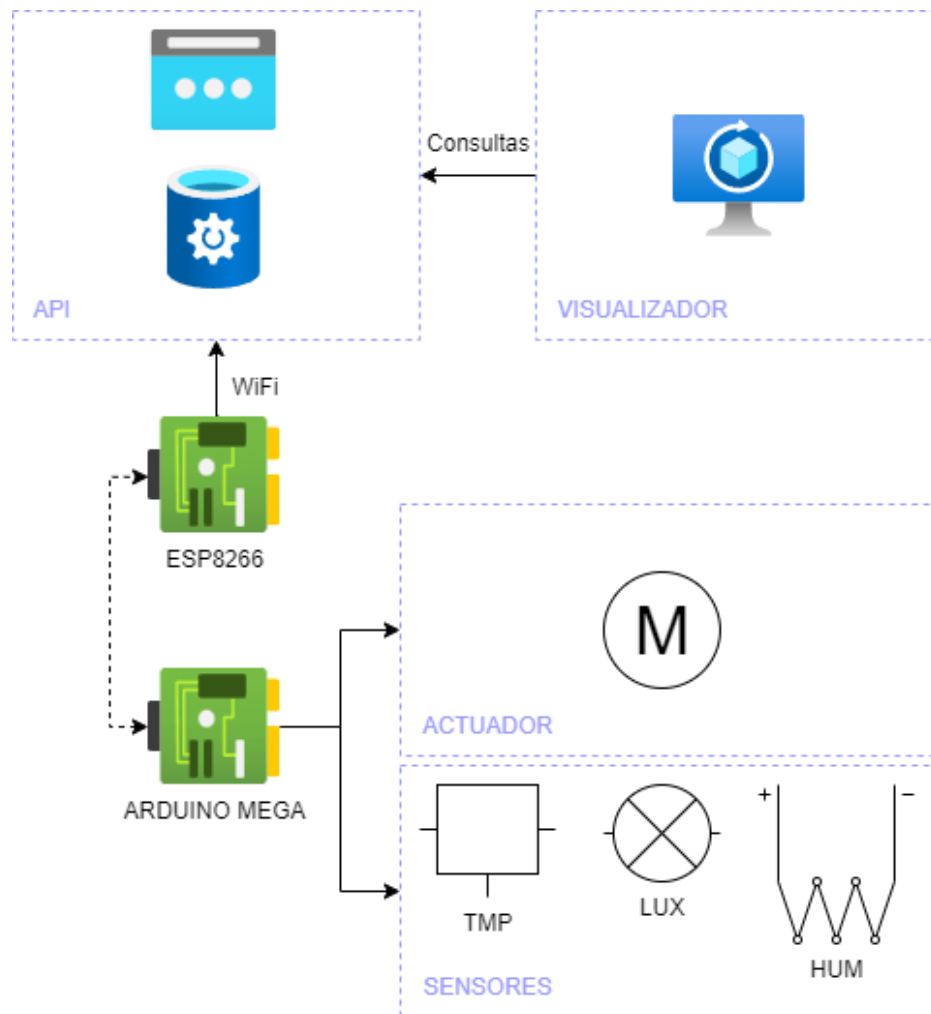


Figura 28. Diagrama de arquitectura.

Fuente: Elaboración propia.

En la imagen anterior, se puede apreciar los bloques del sistema generado, se tiene 5 bloques con funciones muy específicas, los sensores se encargan de tomar las medidas en la planta a estudiar, y el actuador realiza acciones gracias a la rutina generada en el controlador de Arduino.

El Arduino funciona en conjunto con un ESP8266, el cual establece de manera inalámbrica la comunicación hacia el API, esta guarda la información de manera remota, para

poder ser visualizada por algún cliente, como ventaja tiene la fácil integración con sistemas externos, como sitios web, aplicaciones móviles, entre otros.

El cliente o visualizador consulta al API los datos almacenados en él, esto en Python para poder generar las gráficas detalladas de lo que ocurre en la planta.

Para una mayor comprensión del sistema es necesario realizar un esquemático a detalle por cada parte involucrada en el sistema, sus diagramas, componentes e interacciones, así también como el proceso de desarrollo utilizado.

## API

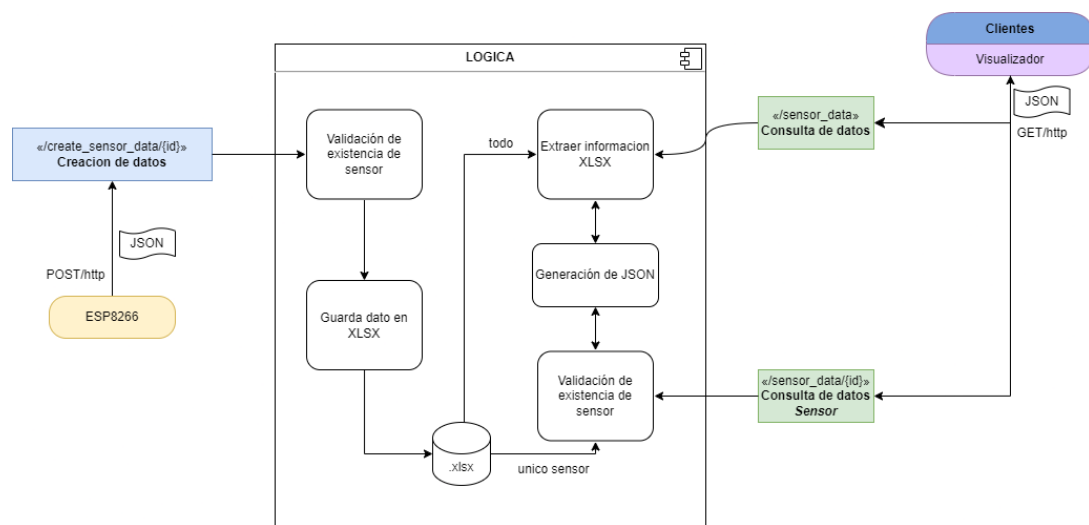


Figura 29. Diagrama bloques para el API.

Fuente: Elaboración propia.

Para el API, en la figura 29 podemos ver los bloques principales que componen el API, como se ve hay 3 puntos de acceso principales, los cuales son utilizados por el visualizador, o por el microcontrolador ESP8266.

En la creación de datos importante tomar en cuenta que exista el sensor a registrar, por lo que al realizar la validación si existe generara registros en el `.xlsx`, para tener un histórico general. El API genera archivos por cada sensor, por lo que al consultar ya sea de manera general o por sensor se realiza una consulta directamente al Excel y devuelve un `JSON` con los datos solicitados.

Importante de tomar en cuenta que al ingresar la información es importante que se tenga en cuenta la estructura del `JSON` especificada en la documentación del API.

## Sistema electrónico

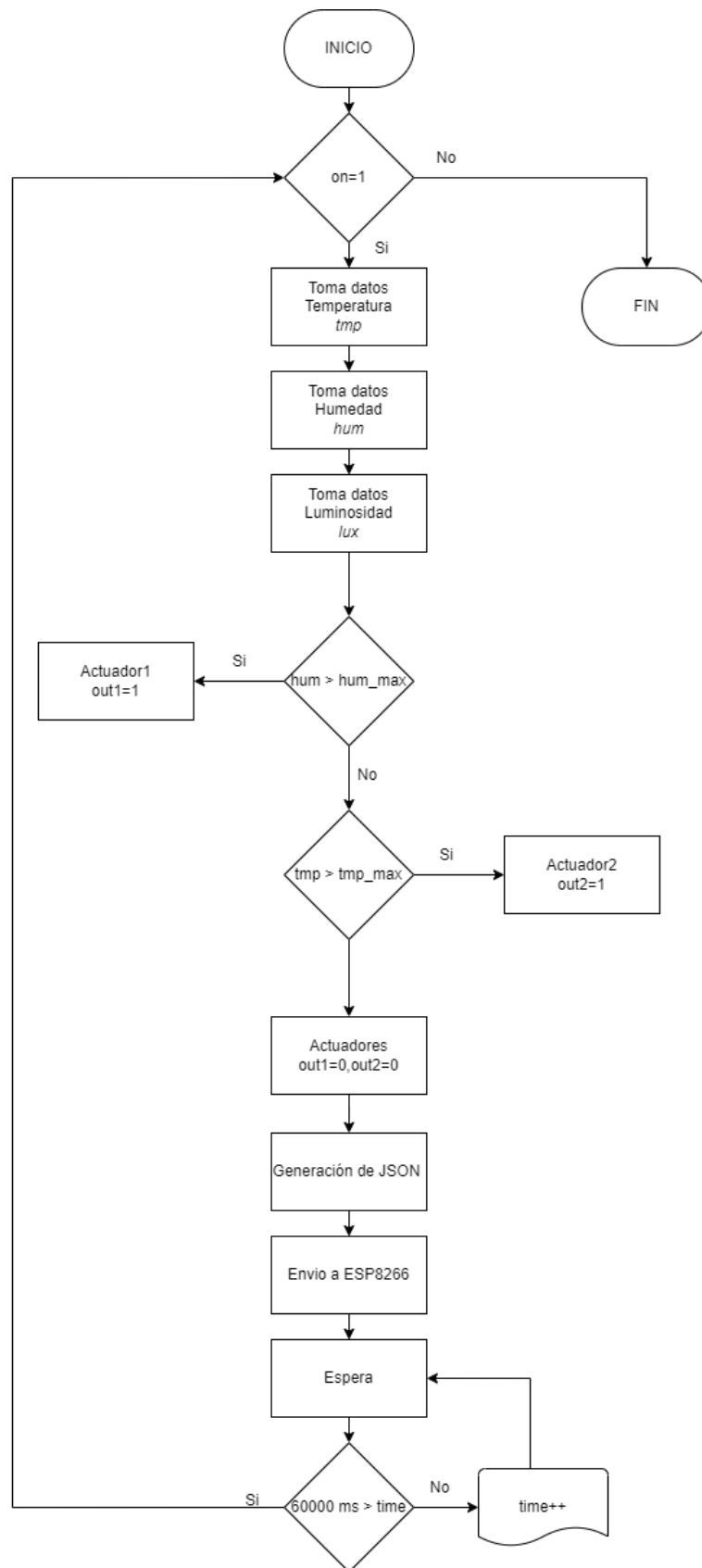


Figura 30. Diagrama de flujo (rutina Arduino)

Fuente: Elaboración propia.

Para la rutina general en el controlador de Arduino, se tiene muy claro el proceso ya que es un ciclo cerrado y está bien definido de manera secuencial, el cual en la figura 23 se puede ver totalmente. Para iniciar la rutina es necesario realizar las medidas a los 3 sensores los cuales están conectados, es importante tomar en cuenta de que no se considera si está conectado el sensor, ya que se asume que se encuentran correctamente tomando los datos.

Con esto se validan las entradas de los sensores, en el código se realiza la validación de valores limitantes, esto para asegurar un control de límites permitidos y al superar esta limitante se realiza la activación de actuadores mediante relé de control.

Durante el proceso se genera los datos en formato JSON, esto es con la finalidad de poder establecer la comunicación mediante WiFi utilizando el controlador ESP8266, mediante un POST al API.

En el proceso de envío de datos se realiza cada minuto esto para que se lleven los registros al API, y posteriormente se puedan generar los reportes necesarios a los usuarios que quieran generar histogramas, o estadísticas futuras del estado de los cultivos.



## Visualizador

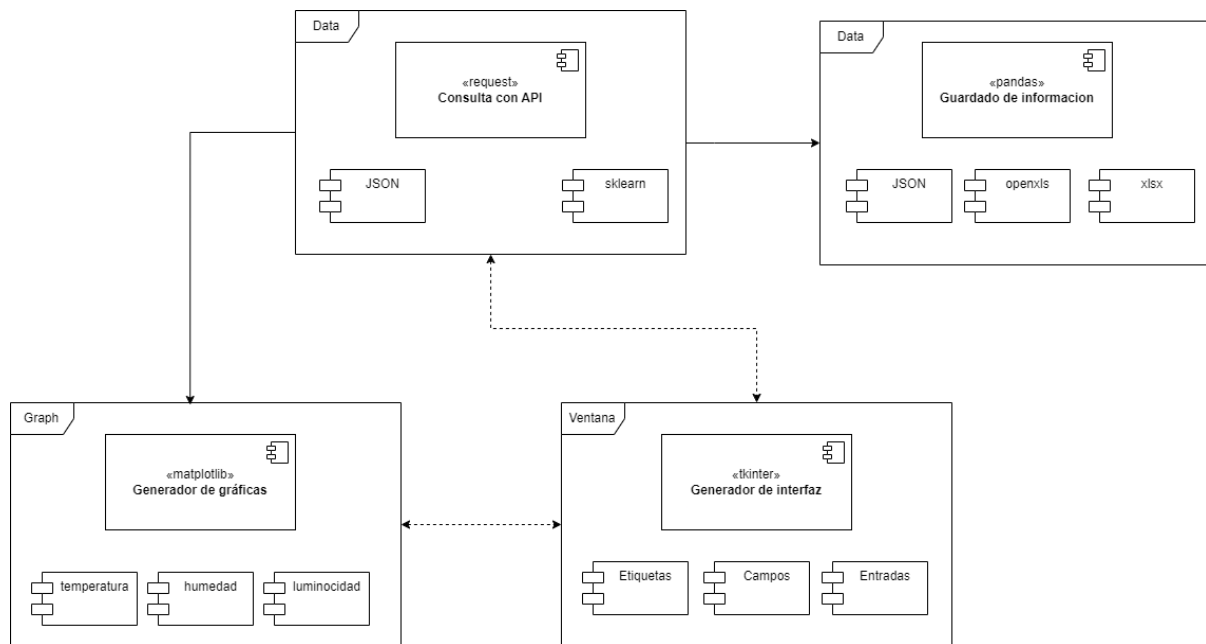


Figura 31. Diagrama de componentes del visualizador en Python.

Fuente: Elaboración propia.

En general el cliente visualizador, es una aplicación de escritorio generada en Python, la cual está compuesta de manera grafica en Tkinter, para poder tener una visualización grafica de los datos. Esta aplicación está compuesta con la interfaz gráfica la cual tiene los datos principales que son obtenidos con una consulta al API.

La librería request se encarga de realizar el GET al API, con el fin de tener un JSON con toda la información, la cual se almacena en archivos .xlsx con el fin de poder exportar a otros sistemas si fuera necesario.

Las gráficas mostradas se generan con la librería de Pandas, las cuales muestran los datos del día de la consulta, o bien se realiza búsqueda con los días anteriores deseados.

Importante tomar en cuenta que los datos se actualizan en tiempo real por lo que si el sensor agrega datos se ven reflejados inmediatamente por el visualizador.

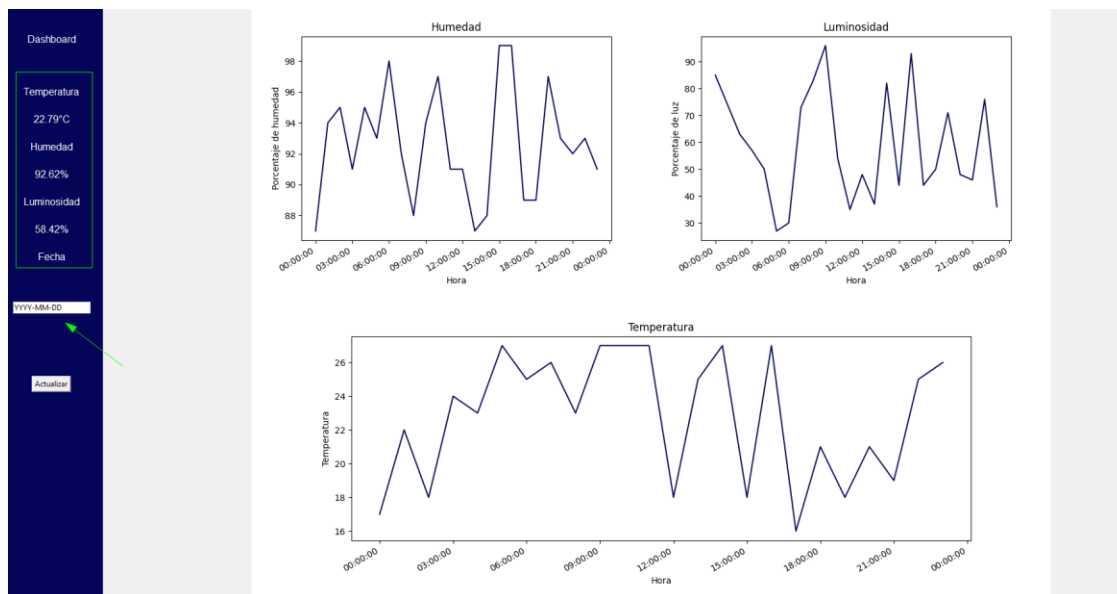


Figura 32. Visualización de los datos recolectados por los sensores.

Fuente: Elaboración propia.

El cliente visualizador este compuesto gráficamente por 3 partes principales, las cuales son:

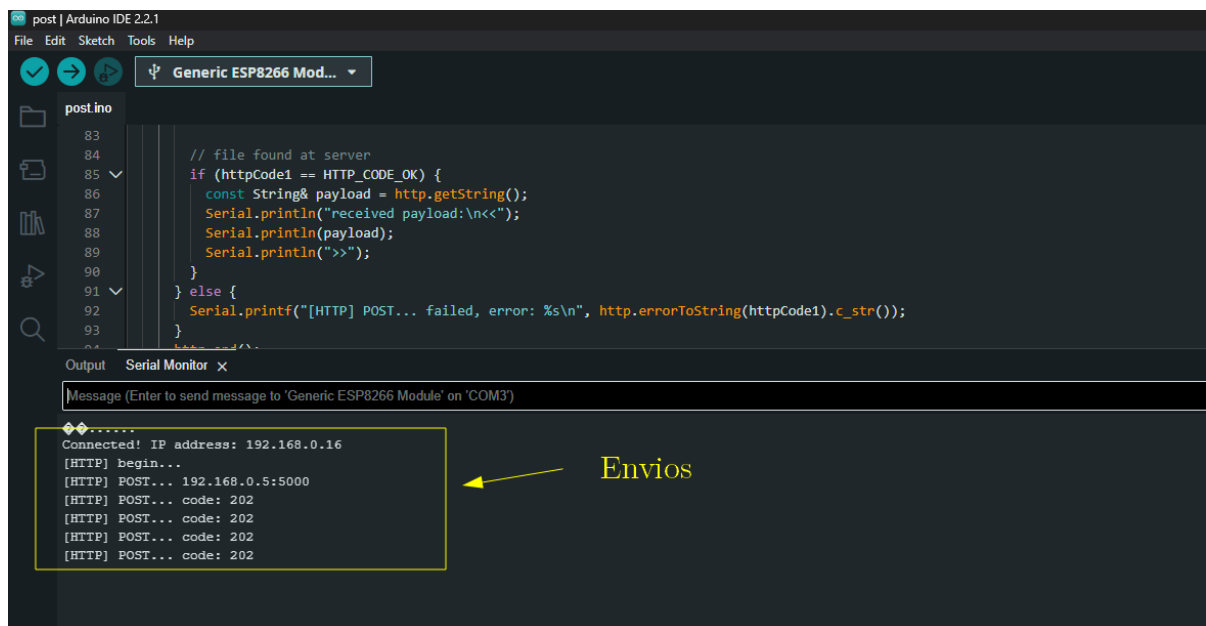
1. **Tablero de datos:** Al lado izquierdo de la pantalla se muestran los valores promedios de los datos registrados en un día, por lo que se puede ver claramente cuál es el estado general diario de un cultivo, en este caso de la lechuga donde claramente se ve un promedio alto de la humedad ya que al ser un cultivo que se basa en el agua principalmente genera estos resultados. Por otra parte la temperatura no debe ser muy alta en promedio ya que es un cultivo que generalmente vive a temperaturas relativamente bajas, estas métricas se trabajaron con matemática básica usando la librería math y numpy.
2. **Graficas:** Las gráficas son un elemento muy importante, ya que nos permite realizar aproximaciones más comprensibles a la vista, estas son elaboradas por matplotlib, y esta etiquetada con los valores en el eje x, el cual es la fecha.
3. **Selector de fechas:** Importante para poder consultar valores históricos anteriores, con esto se hacen comparativas en la práctica con el fin de estudiar al cultivo en diferentes fechas, esto se hace consultado directamente al API, mediante la librería reqres y pandas para ordenar la información.

## Discusión de resultados

En esta sección se pueden ver los resultados obtenidos en la implementación general del sistema en conjunto, además de comparando con datos esperados.

### Comunicación ESP8266 con API

Para la comunicación entre el controlador ESP8266 y el API, se realizan diversas pruebas, las cuales son las mostradas en la figura 33.



```
post | Arduino IDE 2.2.1
File Edit Sketch Tools Help
Generic ESP8266 Mod...
post.ino
83
84 // file found at server
85 if (httpCode1 == HTTP_CODE_OK) {
86   const String& payload = http.getString();
87   Serial.println("received payload:\n<<");
88   Serial.println(payload);
89   Serial.println(">>");
90 }
91 } else {
92   Serial.printf("[HTTP] POST... failed, error: %s\n", http.errorToString(httpCode1).c_str());
93 }
94 }

Output Serial Monitor x
Message (Enter to send message to 'Generic ESP8266 Module' on 'COM3')

Connected! IP address: 192.168.0.16
[HTTP] begin...
[HTTP] POST... 192.168.0.5:5000
[HTTP] POST... code: 202
[HTTP] POST... code: 202
[HTTP] POST... code: 202
[HTTP] POST... code: 202
```

Figura 33. Envío de información por parte del Arduino comunicando al ESP8266.

Fuente: Elaboración propia.

En este caso se ve directamente desde el software de Arduino IDE, en el cual la rutina generada desde el Arduino se encarga de establecer la conexión con el API, utilizando la IP en red local, la cual es 192.168.0.5, al puerto 5000. En caso de tener un servidor dedicado sería utilizar la dirección correspondiente.

Cuando se realiza el envío de los datos por medio del POST, la respuesta del API esperada es el código de validación 202, el cual es el código utilizado para comunicaciones HTTP.

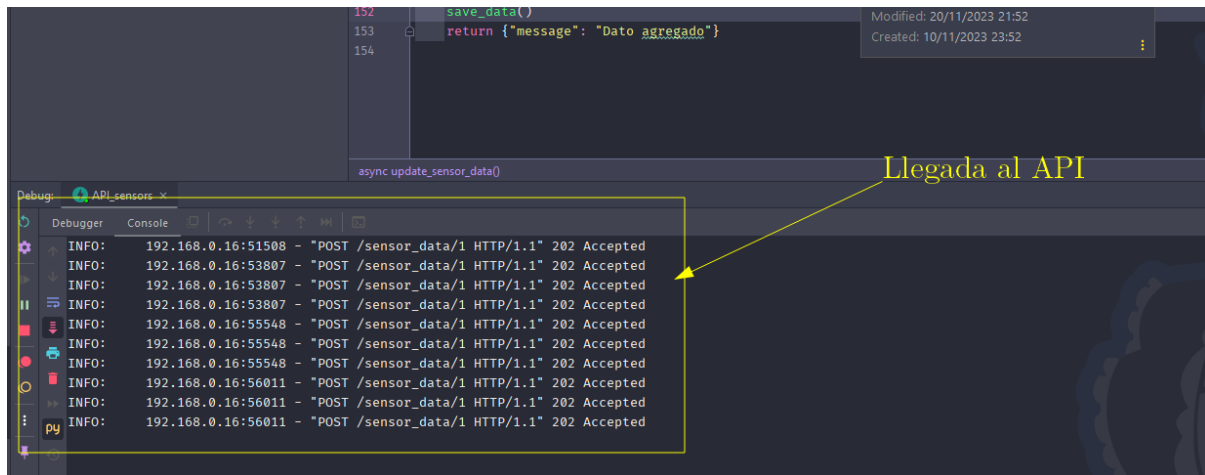


Figura 34. Recepción de la información en el API.

Fuente: Elaboración propia.

Desde el API, en la consola se puede ver las conexiones, y se puede ver claramente desde la IP que se realiza el envío la cual es la 192.168.0.16 que coincide con el de la figura 26, el API devuelve la respuesta 202 ya que es el código de aceptación a la llamada.

Como se ve en la figura 34, todas las conexiones están apuntando directamente al punto de acceso de `sensor_data` mediante el POST, lo que asegura totalmente el funcionamiento del API en conjunto con el controlador electrónico.

## Comunicación plataforma visualizadora con API

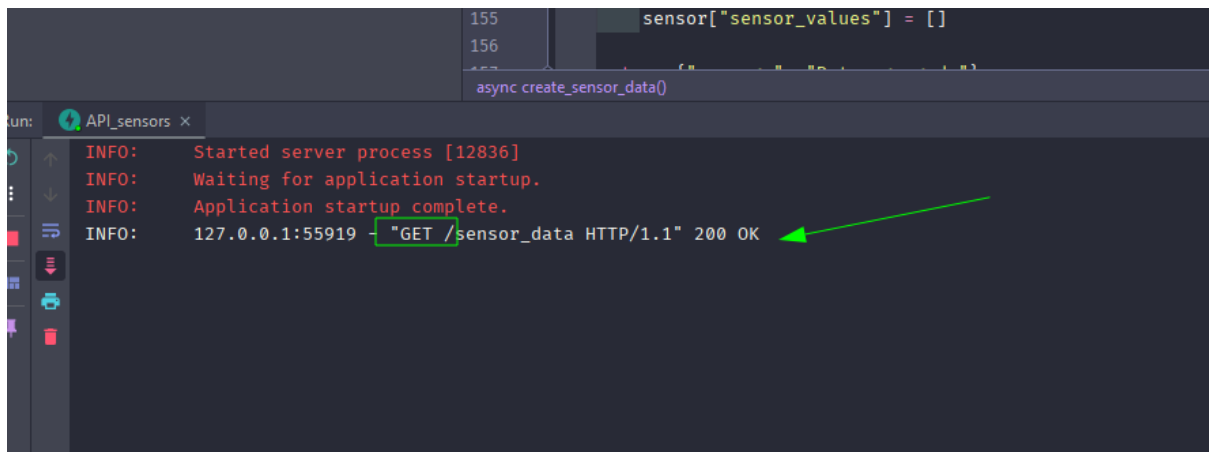


Figura 35. Consulta al API.

Fuente: Elaboración propia.

La manera de consultar datos en el API de igual forma se puede ver en la consola del API, al generar la consulta mediante GET al punto de acceso, se retorna la respuesta 200, la cual es una estándar utilizado en comunicaciones HTTP.

En la figura 36 se puede observar el resultado desde la web generada por el API con swagger, se ve los resultados en un JSON, la cual es la estructura más utilizada para este tipo de comunicación, con esta información facilita la integración con diversos sistemas externos como aplicaciones móviles o páginas web.

## Datos obtenidos desde el API



Figura 36. Consulta al API vista Swagger.

Fuente: Elaboración propia.

## Datos obtenidos en el visualizador

Los datos capturados por los sensores son almacenados directamente en el API, para poder ser consultados por otros sistemas, en este caso el visualizador realizado en Python.

Los datos extraídos de la temperatura se pueden ver en la siguiente tabla.

Día	hora	valor
20/11/2023	0:00	14
20/11/2023	1:00	15
20/11/2023	2:00	23
20/11/2023	3:00	25
20/11/2023	4:00	24
20/11/2023	5:00	27
20/11/2023	6:00	29
20/11/2023	7:00	36
20/11/2023	8:00	30
20/11/2023	9:00	25
20/11/2023	10:00	24
20/11/2023	11:00	18
20/11/2023	12:00	16
20/11/2023	13:00	14
20/11/2023	14:00	15
20/11/2023	15:00	28
20/11/2023	16:00	26
20/11/2023	17:00	24
20/11/2023	18:00	23
20/11/2023	19:00	22
20/11/2023	20:00	20
20/11/2023	21:00	21
20/11/2023	22:00	22
20/11/2023	23:00	20

Tabla 14. Datos captados por el sensor de temperatura el 20 de noviembre.

Fuente: Elaboración propia.

Estos datos captados por los sensores son importantes a tomar en cuenta, ya que se puede realizar una comparación con los valores calculados por los dispositivos electrónicos, por lo que se tomaron los datos durante el día con un dispositivo móvil para poder realizar una comparación más precisa.

día	hora	valor
20/11/2023	0:00	19
20/11/2023	1:00	16
20/11/2023	2:00	20
20/11/2023	3:00	19
20/11/2023	4:00	16
20/11/2023	5:00	20
20/11/2023	6:00	21
20/11/2023	7:00	21
20/11/2023	8:00	23
20/11/2023	9:00	25
20/11/2023	10:00	25
20/11/2023	11:00	23
20/11/2023	12:00	27
20/11/2023	13:00	25
20/11/2023	14:00	25
20/11/2023	15:00	24
20/11/2023	16:00	27
20/11/2023	17:00	23
20/11/2023	18:00	20
20/11/2023	19:00	19
20/11/2023	20:00	18
20/11/2023	21:00	21
20/11/2023	22:00	18
20/11/2023	23:00	17

Tabla 15. Datos captados por dispositivo móvil el 20 de noviembre.

Fuente: Elaboración propia.

Con los datos se realiza la comparación general un cálculo de %de error, de valores promedio diarios y tener una estimación general de los tomados por el sensor.

$$\%e = \frac{|V_{calc} - V_{real}|}{V_{real}} \cdot 100\%$$

Con la formula anterior tenemos un porcentaje del 4.34% lo que es un valor bastante bueno y aceptable, con pocas diferencias, las cuales están atribuidas a la cercanía con los demás componentes por lo que aumenta un poco el valor promedio de la temperatura.

Estos datos son los mostrados en el visualizador, como se puede observar en la figura 30, los valores de luminosidad y de humedad son relativos al estado del cultivo durante el día.

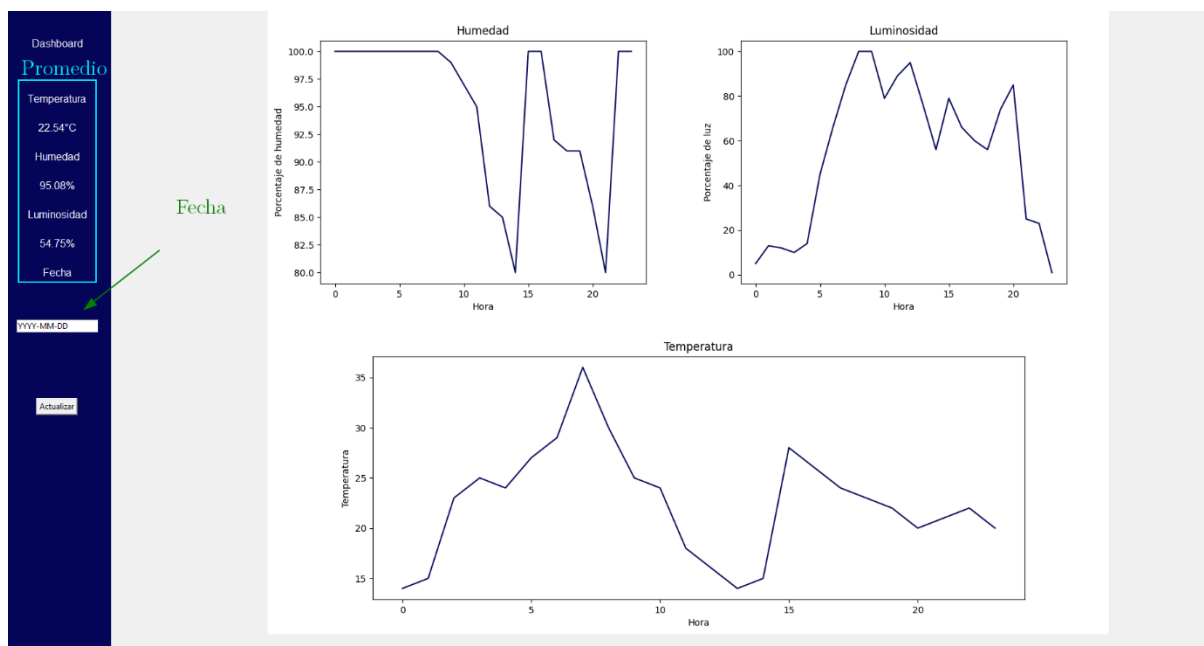


Figura 37. Gráficas y promedios obtenidos por los sensores el 20 de noviembre.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura podemos observar las gráficas de las tres variables medidas, la temperatura las cuales se ven en la tabla 14, así como también la humedad y luminosidad.

Los valores de la humedad son coherentes con el comportamiento natural del sistema, ya que se trata con un valor de 80% de humedad en las plantas para que se accione el actuador encargado de accionar la bomba de agua, por lo que en los puntos más bajos de humedad se aumenta el nivel del agua gracias al actuador.

De igual manera los puntos más altos de temperatura con el límite de 30 grados son tratados con un ventilador pequeño de 5 V controlados de igual manera por un relevador.

Por último, la luminosidad es coherente a un día completo, ya que por horas de la noche y madrugada tiene presente valores mínimos. Para esta variable no se define un actuador debido a la complejidad que requiere y establecido como una limitante, puesto que para realizar un control de este tipo se necesitarían componentes más complejos y caros para mover de manera remota techos o controlar luces, teniendo dos límites claros, por lo que no se trata con control automático, simplemente se monitorea para conocer los valores tomados.

El sistema eléctrico desarrollado se puede ver con imágenes en Anexo B: Sistema eléctrico construido, para mayor detalle.



## Conclusiones

La conexión mediante wifi utilizando el controlador esp8266, es más eficaz y completa que la comunicación mediante cable USB, esto debido a que se disminuyen los cables y se abarca más área

El control de la variable de humedad y temperatura es muy importante para llevar a cabo un proceso automático con protección para los cultivos, con esto aseguramos una mejor cosecha con mejores resultados durante el tiempo esperado.

El uso de un API aumenta la capacidad de integrar el sistema hidropónico creado con otras aplicaciones, esto debido a su gran capacidad de conexión con diversos sistemas, ya que el protocolo de comunicación HTTP es compatible con todos los sistemas actuales que utilizan internet.

Las gráficas generadas en Python son muy útiles, ya que se pueden estudiar de manera visual las variaciones y estado de los cultivos, poseen características básicas estadísticas, pero son de gran utilidad para realizar históricos a lo largo del tiempo y compararlo con valores externos de otros sistemas hidropónicos.

## Recomendaciones

Para un mejor control electrónico se recomienda el uso del controlador ESP8266 NodeMCU, el cual posee todos los elementos necesarios del Arduino MEGA, el cual posee un módulo de WiFi integrado y tiene un menor tamaño, aunque tenga un mayor costo, este aumenta notablemente la funcionalidad y simplifica las conexiones con los sensores.

Se recomienda la generación de aplicación móvil, ya sea para Android o IOS, para que aumente la portabilidad del sistema, esto es posible gracias al API, que posee alta capacidad en las integraciones con otras plataformas.

Para un mejor entendimiento de los datos se recomienda el uso de la librería Scikit-learn y Keras, con el fin de hacer un sistema orientado al aprendizaje automático y con esto poder realizar predicciones a futuro de los datos tomados.

# Anexos

## Anexo A: Datos técnicos de los componentes



LM193-N, LM2903-N, LM293-N, LM393-N

SNOSBJ6G – OCTOBER 1999 – REVISED OCTOBER 2018

### LMx93-N, LM2903-N Low-Power, Low-Offset Voltage, Dual Comparators

#### 1 Features

- Wide Supply
  - Voltage Range: 2.0 V to 36 V
  - Single or Dual Supplies:  $\pm 1.0$  V to  $\pm 18$  V
- Very Low Supply Current Drain (0.4 mA) — Independent of Supply Voltage
- Low Input Biasing Current: 25 nA
- Low Input Offset Current:  $\pm 5$  nA
- Maximum Offset voltage:  $\pm 3$  mV
- Input Common-Mode Voltage Range Includes Ground
- Differential Input Voltage Range Equal to the Power Supply Voltage
- Low Output Saturation Voltage: 250 mV at 4 mA
- Output Voltage Compatible with TTL, DTL, ECL, MOS and CMOS logic systems
- Available in the 8-Bump (12 mil) DSBGA Package
- See AN-1112 (SNVA009) for DSBGA Considerations
- Advantages
  - High Precision Comparators
  - Reduced  $V_{OS}$  Drift Over Temperature
  - Eliminates Need for Dual Supplies
  - Allows Sensing Near Ground
  - Compatible with All Forms of Logic
  - Power Drain Suitable for Battery Operation

#### 2 Applications

- Battery Powered Applications
- Industrial Applications

#### 3 Description

The LM193-N series consists of two independent precision voltage comparators with an offset voltage specification as low as 2.0 mV max for two comparators which were designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage. These comparators also have a unique characteristic in that the input common-mode voltage range includes ground, even though operated from a single power supply voltage.

Application areas include limit comparators, simple analog to digital converters; pulse, squarewave and time delay generators; wide range VCO; MOS clock timers; multivibrators and high voltage digital logic gates. The LM193-N series was designed to directly interface with TTL and CMOS. When operated from both plus and minus power supplies, the LM19-N series will directly interface with MOS logic where their low power drain is a distinct advantage over standard comparators.

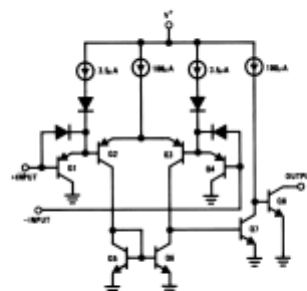
The LM393 and LM2903 parts are available in TI's innovative thin DSBGA package with 8 (12 mil) large bumps.

Device Information<sup>(1)</sup>

PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
LM193-N	TO-99 (8)	9.08 mm x 9.08 mm
LM293-N		
LM393-N	SOIC (8)	4.90 mm x 3.91 mm
	DSBGA (8)	1.54 mm x 1.54 mm
LM2903-N	SOIC (8)	4.90 mm x 3.91 mm
	DSBGA (8)	1.54 mm x 1.54 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the datasheet.

#### Simplified Schematic



An IMPORTANT NOTICE at the end of this data sheet addresses availability, warranty, changes, use in safety-critical applications, intellectual property matters and other important disclaimers. PRODUCTION DATA.

Figura 27. Hoja de datos del LM393.

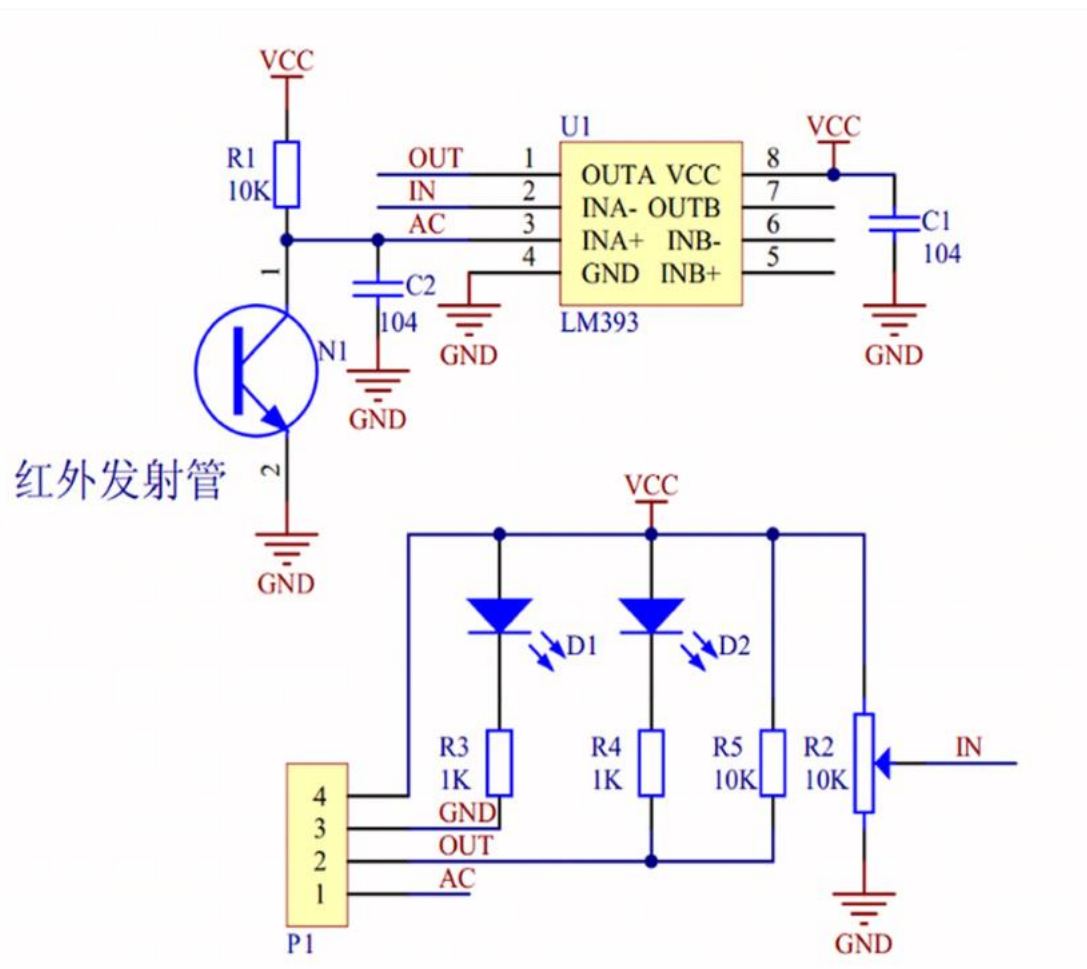


Figura 28. Esquemático del YL-38.

Fuente: <https://imgs.inkfrog.com/pix/ebayimage2012/26215-8.jpg>



# Si7021-A20

## I<sup>2</sup>C HUMIDITY AND TEMPERATURE SENSOR

### Features

- |   |  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Precision Relative Humidity Sensor           <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\pm 3\%</math> RH (max), 0–80% RH</li> </ul> </li> <li>■ High Accuracy Temperature Sensor           <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\pm 0.4\text{ }^{\circ}\text{C}</math> (max), <math>-10</math> to <math>85\text{ }^{\circ}\text{C}</math></li> </ul> </li> <li>■ 0 to 100% RH operating range</li> <li>■ Up to <math>-40</math> to <math>+125\text{ }^{\circ}\text{C}</math> operating range</li> <li>■ Wide operating voltage (1.9 to 3.6 V)</li> <li>■ Low Power Consumption           <ul style="list-style-type: none"> <li>• 150 <math>\mu\text{A}</math> active current</li> <li>• 60 nA standby current</li> </ul> </li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Factory-calibrated</li> <li>■ I<sup>2</sup>C Interface</li> <li>■ Integrated on-chip heater</li> <li>■ 3x3 mm DFN Package</li> <li>■ Excellent long term stability</li> <li>■ Optional factory-installed cover           <ul style="list-style-type: none"> <li>• Low-profile</li> <li>• Protection during reflow</li> <li>• Excludes liquids and particulates</li> </ul> </li> </ul> |
|---|--|

### Applications

- |  |  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>■ HVAC/R</li> <li>■ Thermostats/humidistats</li> <li>■ Respiratory therapy</li> <li>■ White goods</li> <li>■ Indoor weather stations</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Micro-environments/data centers</li> <li>■ Automotive climate control and defogging</li> <li>■ Asset and goods tracking</li> <li>■ Mobile phones and tablets</li> </ul> |
|--|--|

### Description

The Si7021 I<sup>2</sup>C Humidity and Temperature Sensor is a monolithic CMOS IC integrating humidity and temperature sensor elements, an analog-to-digital converter, signal processing, calibration data, and an I<sup>2</sup>C Interface. The patented use of industry-standard, low-K polymeric dielectrics for sensing humidity enables the construction of low-power, monolithic CMOS Sensor ICs with low drift and hysteresis, and excellent long term stability.

The humidity and temperature sensors are factory-calibrated and the calibration data is stored in the on-chip non-volatile memory. This ensures that the sensors are fully interchangeable, with no recalibration or software changes required.

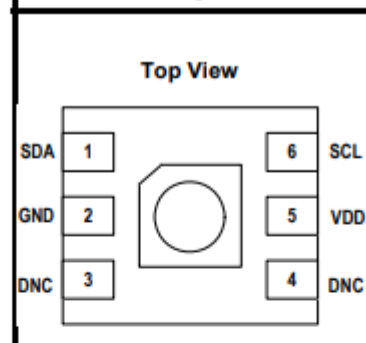
The Si7021 is available in a 3x3 mm DFN package and is reflow solderable. It can be used as a hardware- and software-compatible drop-in upgrade for existing RH/temperature sensors in 3x3 mm DFN-6 packages, featuring precision sensing over a wider range and lower power consumption. The optional factory-installed cover offers a low profile, convenient means of protecting the sensor during assembly (e.g., reflow soldering) and throughout the life of the product, excluding liquids (hydrophobic/oleophobic) and particulates.

The Si7021 offers an accurate, low-power, factory-calibrated digital solution ideal for measuring humidity, dew-point, and temperature, in applications ranging from HVAC/R and asset tracking to industrial and consumer platforms.



**Ordering Information:**  
See page 29.

### Pin Assignments



Patent Protected. Patents pending

Figura 29. Hoja de datos del Adafruit Si7021.

Fuente: (Silicon Labs. (2022). Si7021-A20. [Datasheet]. Silicon Labs. <https://www.silabs.com/documents/public/data-sheets/Si7021-A20.pdf>)

# Si7021-A20

## 1. Electrical Specifications

Unless otherwise specified, all min/max specifications apply over the recommended operating conditions.

**Table 1. Recommended Operating Conditions**

Parameter	Symbol	Test Condition	Min	Typ	Max	Unit
Power Supply	VDD		1.9	—	3.6	V
Operating Temperature	TA	I and Y grade	−40	—	+125	°C
Operating Temperature	TA	G grade	−40	—	+85	°C

**Table 2. General Specifications**

1.9 ≤ VDD ≤ 3.6 V; TA = −40 to 85 °C (G grade) or −40 to 125 °C (I/Y grade); default conversion time unless otherwise noted.

Parameter	Symbol	Test Condition	Min	Typ	Max	Unit
Input Voltage High	VIH	SCL, SDA pins	0.7xVDD	—	—	V
Input Voltage Low	VIL	SCL, SDA pins	—	—	0.3xVDD	V
Input Voltage Range	VIN	SCL, SDA pins with respect to GND	0.0	—	VDD	V
Input Leakage	IIL	SCL, SDA pins	—	—	1	μA
Output Voltage Low	VOL	SDA pin; IOL = 2.5 mA; VDD = 3.3 V	—	—	0.6	V
		SDA pin; IOL = 1.2 mA; VDD = 1.9 V	—	—	0.4	V
Current Consumption	IDD	RH conversion in progress	—	150	180	μA
		Temperature conversion in progress	—	90	120	μA
		Standby, −40 to +85 °C <sup>2</sup>	—	0.06	0.62	μA
		Standby, −40 to +125 °C <sup>2</sup>	—	0.06	3.8	μA
		Peak IDD during powerup <sup>3</sup>	—	3.5	4.0	mA
		Peak IDD during I <sup>2</sup> C operations <sup>4</sup>	—	3.5	4.0	mA
Heater Current <sup>5</sup>	IHEAT		—	3.1 to 94.2	—	mA

**Notes:**

1. Initiating a RH measurement will also automatically initiate a temperature measurement. The total conversion time will be t<sub>CONV</sub>(RH) + t<sub>CONV</sub>(T).
2. No conversion or I<sup>2</sup>C transaction in progress. Typical values measured at 25 °C.
3. Occurs once during powerup. Duration is <5 msec.
4. Occurs during I<sup>2</sup>C commands for Reset, Read/Write User Registers, Read EID, and Read Firmware Version. Duration is <100 μs when I<sup>2</sup>C clock speed is >100 kHz (>200 kHz for 2-byte commands).
5. Additional current consumption when HTRE bit enabled. See Section "5.5. Heater" for more information.

*Figura 30. Datos eléctricos del Adafruit Si7021.*

Fuente: : (Silicon Labs. (2022). Si7021-A20. [Datasheet]. Silicon Labs. <https://www.silabs.com/documents/public/data-sheets/Si7021-A20.pdf>)

## 1.1 Recommended Operating Condition

The sensor shows best performance when operated within recommended normal temperature and humidity range of 5 °C – 60 °C and 20 %RH – 80 %RH, respectively. Long-term exposure to conditions outside normal range, especially at high humidity, may temporarily offset the RH signal (e.g. +3%RH after 60h kept at >80%RH). After returning into the normal temperature and humidity range the sensor will slowly come back to calibration state by itself. Prolonged exposure to extreme conditions may accelerate ageing. To ensure stable operation of the humidity sensor, the conditions described in the document "SHTxx Assembly of SMD Packages", section "Storage and Handling Instructions" regarding exposure to volatile organic compounds have to be met. Please note as well that this does apply not only to transportation and manufacturing, but also to operation of the SHT3x-DIS.

## 2 Specifications

### 2.1 Electrical Specifications

Parameter	Symbol	Condition	Min.	Typ.	Max.	Units	Comments
Supply voltage	V <sub>DD</sub>		2.4	3.3	5.5	V	
Power-up/down level	V <sub>POR</sub>		2.1	2.3	2.4	V	
Slew rate change of the supply voltage	V <sub>DD,slew</sub>		-	-	20	V/ms	Voltage changes on the V <sub>DD</sub> line between V <sub>DD,min</sub> and V <sub>DD,max</sub> should be slower than the maximum slew rate; faster slew rates may lead to reset
Supply current	I <sub>DD</sub>	idle state (single shot mode)	-	0.2	2.0	μA	Current when sensor is not performing a measurement during single shot mode
		idle state (periodic data acquisition mode)	-	45	70	μA	Current when sensor is not performing a measurement during periodic data acquisition mode
		Measuring	-	800	1500	μA	Current consumption while sensor is measuring
		Average	-	2	-	μA	Current consumption (operation with one measurement per second at lowest repeatability, single shot mode)
Alert Output driving strength	IOH		0.8x V <sub>DD</sub>	1.5x V <sub>DD</sub>	2.1x V <sub>DD</sub>	mA	See also section 3.5
Heater power	P <sub>Heater</sub>	Heater running	4.5	-	33	mW	Depending on the supply voltage

**Table 3** Electrical specifications, valid at 25°C.

Figura 31. Hoja de datos de la linea de componentes SHT-3x.

Fuente: (Sensirion. (2016). Datasheet SHT3x-DIS Humidity and Temperature Sensor. [Datasheet]. Sensirion. [https://sensirion.com/media/documents/213E6A3B/63A5A569/Datasheet\\_SHT3x\\_DIS.pdf](https://sensirion.com/media/documents/213E6A3B/63A5A569/Datasheet_SHT3x_DIS.pdf)).



### 1.1 Recommended Operating Condition

The sensor shows best performance when operated within recommended normal temperature and humidity range of 5 °C – 60 °C and 20 %RH – 80 %RH, respectively. Long-term exposure to conditions outside normal range, especially at high humidity, may temporarily offset the RH signal (e.g. +3%RH after 60h kept at >80%RH). After returning into the normal temperature and humidity range the sensor will slowly come back to calibration state by itself. Prolonged exposure to extreme conditions may accelerate ageing. To ensure stable operation of the humidity sensor, the conditions described in the document "SHTxx Assembly of SMD Packages", section "Storage and Handling Instructions" regarding exposure to volatile organic compounds have to be met. Please note as well that this does apply not only to transportation and manufacturing, but also to operation of the SHT3x-DIS.

## 2 Specifications

### 2.1 Electrical Specifications

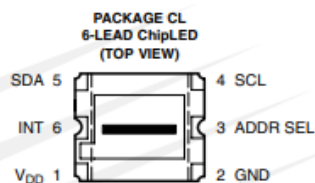
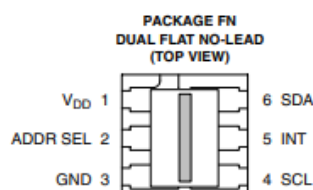
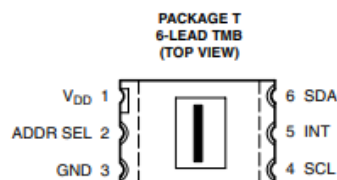
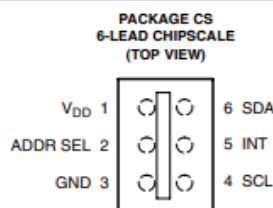
Parameter	Symbol	Condition	Min.	Typ.	Max.	Units	Comments
Supply voltage	$V_{DD}$		2.4	3.3	5.5	V	
Power-up/down level	$V_{POR}$		2.1	2.3	2.4	V	
Slew rate change of the supply voltage	$V_{DD,slew}$		-	-	20	V/ms	Voltage changes on the VDD line between $V_{DD,min}$ and $V_{DD,max}$ should be slower than the maximum slew rate; faster slew rates may lead to reset
Supply current	$I_{DD}$	idle state (single shot mode)	-	0.2	2.0	$\mu A$	Current when sensor is not performing a measurement during single shot mode
		idle state (periodic data acquisition mode)	-	45	70	$\mu A$	Current when sensor is not performing a measurement during periodic data acquisition mode
		Measuring	-	800	1500	$\mu A$	Current consumption while sensor is measuring
		Average	-	2	-	$\mu A$	Current consumption (operation with one measurement per second at lowest repeatability, single shot mode)
Alert Output driving strength	$I_{OH}$		$0.8 \times V_{DD}$	$1.5 \times V_{DD}$	$2.1 \times V_{DD}$	mA	See also section 3.5
Heater power	$P_{Heater}$	Heater running	4.5	-	33	mW	Depending on the supply voltage

**Table 3** Electrical specifications, valid at 25°C.

*Figura 32. Especificaciones eléctricas de la línea SHT-3X.*

Fuente: (Sensirion. (2016). Datasheet SHT3x-DIS Humidity and Temperature Sensor. [Datasheet]. Sensirion. [https://sensirion.com/media/documents/213E6A3B/63A5A569/Datasheet\\_SHT3x\\_DIS.pdf](https://sensirion.com/media/documents/213E6A3B/63A5A569/Datasheet_SHT3x_DIS.pdf))

- Approximates Human Eye Response
- Programmable Interrupt Function with User-Defined Upper and Lower Threshold Settings
- 16-Bit Digital Output with SMBus (TSL2560) at 100 kHz or I<sup>2</sup>C (TSL2561) Fast-Mode at 400 kHz
- Programmable Analog Gain and Integration Time Supporting 1,000,000-to-1 Dynamic Range
- Automatically Rejects 50/60-Hz Lighting Ripple
- Low Active Power (0.75 mW Typical) with Power Down Mode
- RoHS Compliant



Package Drawings are Not to Scale

### Description

The TSL2560 and TSL2561 are light-to-digital converters that transform light intensity to a digital signal output capable of direct I<sup>2</sup>C (TSL2561) or SMBus (TSL2560) interface. Each device combines one broadband photodiode (visible plus infrared) and one infrared-responding photodiode on a single CMOS integrated circuit capable of providing a near-photopic response over an effective 20-bit dynamic range (16-bit resolution). Two integrating ADCs convert the photodiode currents to a digital output that represents the irradiance measured on each channel. This digital output can be input to a microprocessor where illuminance (ambient light level) in lux is derived using an empirical formula to approximate the human eye response. The TSL2560 device permits an SMB-Alert style interrupt, and the TSL2561 device supports a traditional level style interrupt that remains asserted until the firmware clears it.

While useful for general purpose light sensing applications, the TSL2560/61 devices are designed particularly for display panels (LCD, OLED, etc.) with the purpose of extending battery life and providing optimum viewing in diverse lighting conditions. Display panel backlighting, which can account for up to 30 to 40 percent of total platform power, can be automatically managed. Both devices are also ideal for controlling keyboard illumination based upon ambient lighting conditions. Illuminance information can further be used to manage exposure control in digital cameras. The TSL2560/61 devices are ideal in notebook/tablet PCs, LCD monitors, flat-panel televisions, cell phones, and digital cameras. In addition, other applications include street light control, security lighting, sunlight harvesting, machine vision, and automotive instrumentation clusters.

Figura 33. Hoja de datos del TSL2560 y del TSL2561.

Fuente: (TAOS. (2009). TSL2560, TSL2561 LIGHT-TO-DIGITAL CONVERTER. [Datasheet]. TAOS. <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/TSL2561.pdf>)



**TSL2560, TSL2561  
LIGHT-TO-DIGITAL CONVERTER**

TAOS059N – MARCH 2009

**Terminal Functions**

TERMINAL NAME	CS, T, FN PKG NO.	CL PKG NO.	TYPE	DESCRIPTION
ADDR SEL	2	3	I	SMBus device select — three-state
GND	3	2		Power supply ground. All voltages are referenced to GND.
INT	5	6	O	Level or SMB Alert interrupt — open drain.
SCL	4	4	I	SMBus serial clock input terminal — clock signal for SMBus serial data.
SDA	6	5	I/O	SMBus serial data I/O terminal — serial data I/O for SMBus.
V <sub>DD</sub>	1	1		Supply voltage.

**Absolute Maximum Ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)<sup>†</sup>**

Supply voltage, V <sub>DD</sub> (see Note 1)	3.8 V
Digital output voltage range, V <sub>O</sub>	–0.5 V to 3.8 V
Digital output current, I <sub>O</sub>	–1 mA to 20 mA
Storage temperature range, T <sub>stg</sub>	–40°C to 85°C
ESD tolerance, human body model	2000 V

<sup>†</sup> Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

NOTE 1: All voltages are with respect to GND.

**Recommended Operating Conditions**

	MIN	NOM	MAX	UNIT
Supply voltage, V <sub>DD</sub>	2.7	3	3.6	V
Operating free-air temperature, T <sub>A</sub>	–30		70	°C
SCL, SDA input low voltage, V <sub>IL</sub>	–0.5		0.8	V
SCL, SDA input high voltage, V <sub>IH</sub>	2.1		3.6	V

**Electrical Characteristics over recommended operating free-air temperature range (unless otherwise noted)**

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
I <sub>DD</sub> Supply current	Active		0.24	0.6	mA
	Power down		3.2	15	µA
V <sub>OL</sub> INT, SDA output low voltage	3 mA sink current	0		0.4	V
	6 mA sink current	0		0.6	V
I <sub>LEAK</sub> Leakage current		–5		5	µA

The LUMINOLOGY® Company



Copyright © 2009, TAOS Inc.

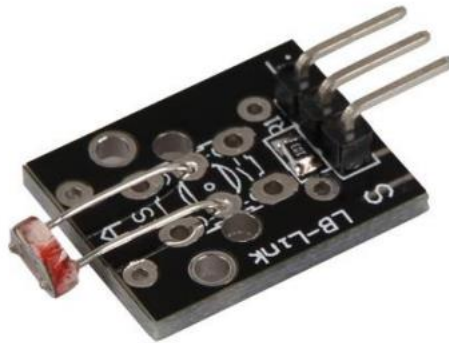
3

*Figura 34. Hoja de datos del TSL2560 y del TSL2561.*

Fuente: (TAOS. (2009). TSL2560, TSL2561 LIGHT-TO-DIGITAL CONVERTER. [Datasheet]. TAOS. <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/TSL2561.pdf>)

## Picture

---



## Technical data / Short description

---

Includes a LDR-resistor (Light dependent resistor), which decreases its resistance at brighter surrounding.

You can determine the resistance of the resistor by using a voltage divider, where a known voltage will be divided between a known and an unknown variable resistor. You can calculate the resistance with the measured voltage - the code example below includes the exact calculation.

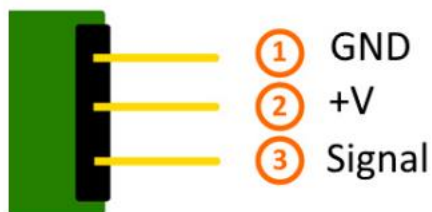
*Figura 35. Hoja de datos del KY-018.*

Fuente: (JOY-IT. 2017. KY-018 Photoresistor module. [Datasheet]. JOY-IT. <https://www.datasheethub.com/wp-content/uploads/2022/10/KY-018-Joy-IT.pdf>)

---

## Pinout

---



*Figura 36. Pines de salida del KY-018.*

Fuente: (JOY-IT. 2017. KY-018 Photoresistor module. [Datasheet]. JOY-IT. <https://www.datasheethub.com/wp-content/uploads/2022/10/KY-018-Joy-IT.pdf>)

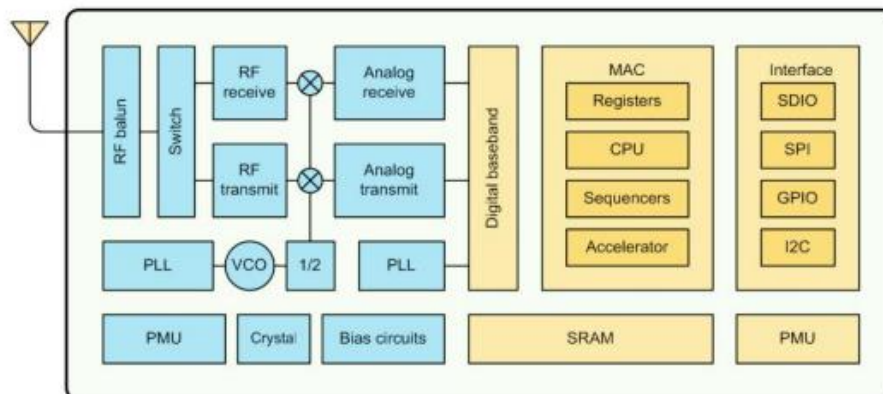


## 1. Preambles

ESP-01 WiFi module is developed by Ai-thinker Team. core processor ESP8266 in smaller sizes of the module encapsulates Tensilica L106 integrates industry-leading ultra low power 32-bit MCU micro, with the 16-bit short mode, Clock speed support 80 MHz, 160 MHz, supports the RTOS, integrated Wi-Fi MAC/BB/RF/PA/LNA, on-board antenna.

The module supports standard IEEE802.11 b/g/n agreement, complete TCP/IP protocol stack. Users can use the add modules to an existing device networking, or building a separate network controller.

ESP8266 is high integration wireless SOCs, designed for space and power constrained mobile platform designers. It provides unsurpassed ability to embed Wi-Fi capabilities within other systems, or to function as a standalone application, with the lowest cost, and minimal space requirement.



**Figure 1 ESP8266EX Block Diagram**

ESP8266EX offers a complete and self-contained Wi-Fi networking solution; it can be used to host the application or to offload Wi-Fi networking functions from another application processor.

When ESP8266EX hosts the application, it boots up directly from an external flash. It has integrated cache to improve the performance of the system in such applications.

Alternately, serving as a Wi-Fi adapter, wireless internet access can be added to any micro controller-based design with simple connectivity (SPI/SDIO or I2C/UART interface).

## 1.2. Parameters

Table 1 below describes the major parameters.

**Table 1 Parameters**

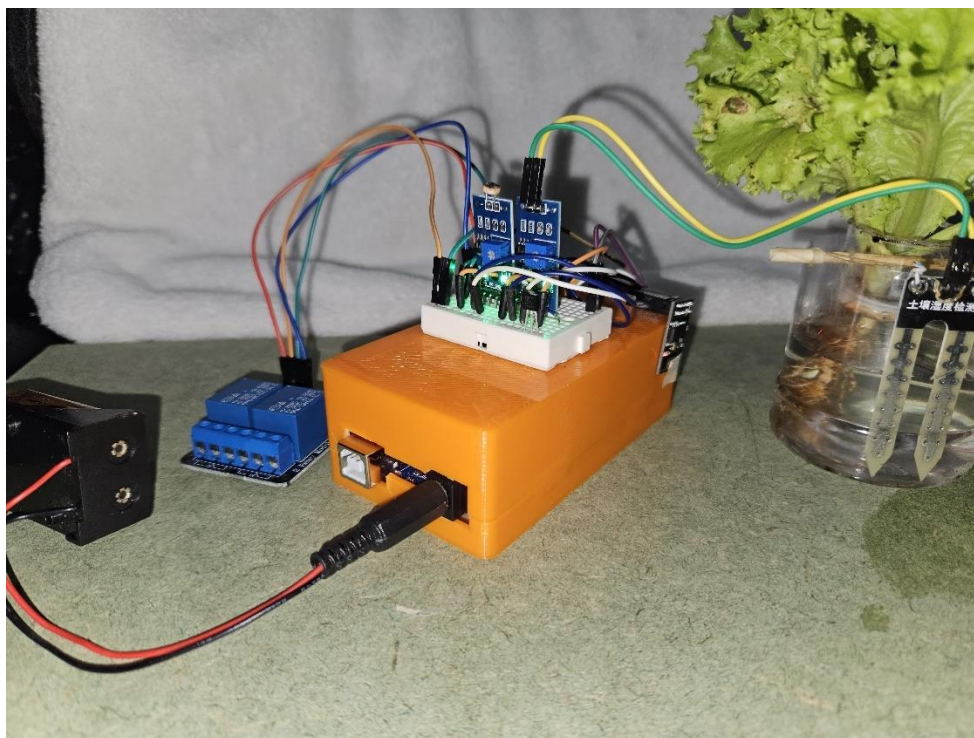
Categories	Items	Values
WiFi Parameters	WiFi Protocols	802.11 b/g/n
	Frequency Range	2.4GHz-2.5GHz (2400M-2483.5M)
Hardware Parameters	Peripheral Bus	UART/HSPI/I2C/I2S/Ir Remote Control GPIO/PWM
	Operating Voltage	3.0~3.6V
	Operating Current	Average value: 80mA
	Operating Temperature Range	-40°~125°
	Ambient Temperature Range	Normal temperature
	Package Size	14.3mm*24.8mm*3mm
	External Interface	N/A
Software Parameters	Wi-Fi mode	station/softAP/SoftAP+station
	Security	WPA/WPA2
	Encryption	WEP/TKIP/AES
	Firmware Upgrade	UART Download / OTA (via network) / download and write firmware via host
	Software Development	Supports Cloud Server Development / SDK for custom firmware development
	Network Protocols	IPv4, TCP/UDP/HTTP/FTP
	User Configuration	AT Instruction Set, Cloud Server, Android/iOS App

*Figura 38. Hoja de datos del ESP8266X – parámetros*

Fuente: (Ai-Thinker. 2015. ESP-01 WiFi Module. [Datasheet]. Microchip. <https://www.microchip.ua/wireless/esp01.pdf>)

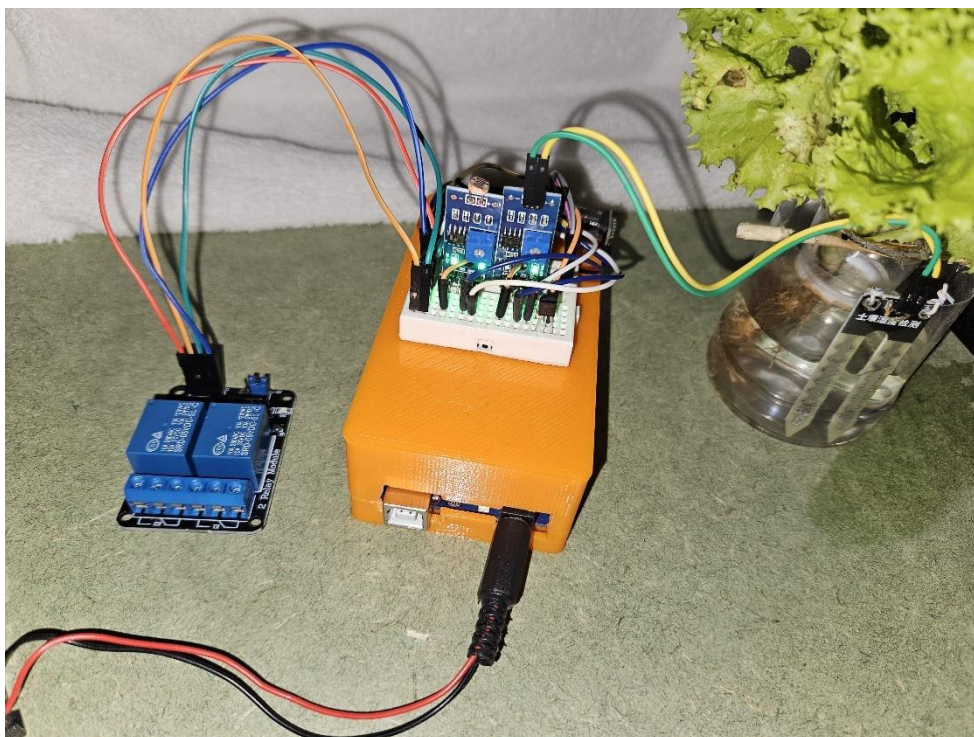


## Anexo B: Sistema eléctrico construido



*Figura 39. Sistema eléctrico compuesto, vista frontal*

Fuente: Elaboración propia.



*Figura 40. Sistema eléctrico compuesto, vista superior*

Fuente: Elaboración propia.

## Referencias

- Barbado, J. L. (2005). *Hidroponía*. Buenos Aires: ALBATROS SACI.
- Beltrano, J. (2015). *Cultivo en Hidroponía*. Argentina: Editorial de La Universidad De La Plata.
- C&d tecnologia. (s.f.). *C&d tecnologia*. Obtenido de C&d tecnologia: <https://cdtecnologia.net/placas-electronicas/1925-modulo-wifi-esp8266-esp-01.html>
- del Valle Hernandez, L. (2019). *Escoger el mejor sensor de temperatura para Arduino*.
- DIAZ SANCHEZ, Y. J. (2021). *DIAGNÓSTICO DE SENSORES DE HUMEDAD CON ARDUINO*. CHIMBOTE.
- ECORFAN. (2017). Módulo ESP8266 y sus aplicaciones en el internet de las cosas. *Revista de ingeniería eléctrica*, 24-33.
- Fundación Seres Operantes. (s.f.). *Connect Americas*. Obtenido de [https://connectamericas.com/sites/default/files/company\\_files/PAQUETE%20TECNOLÓGICO%20HIDROPONIA\\_1.pdf](https://connectamericas.com/sites/default/files/company_files/PAQUETE%20TECNOLÓGICO%20HIDROPONIA_1.pdf)
- Gutierrez Tlahque, J. (2011). *Producción hidropónico de lechuga con y sin recirculación de solución nutritiva*. Chapingo.
- Huanca Huisa, L. (2019). *Calculo del factor de secamiento en el cultivo de lechuga (Lactuca sativa) con el método de riego por microaspersión en centro agronómico K'ayra - San Jerónimo - Cusco*. Cusco.
- Méndez Ducón, D. C. (2016). *Diseño e implementación de modelo a escala de una SmartHome con una red local doméstica para monitorear tres variables ambientales y transmitir las mediciones a un usuario remoto empleando protocolo IP*. Bogotá.
- Noticias Ambientales . (6 de Octubre de 2023). *Los cultivos hidropónicos son la nueva manera de cultivar y lograr la mejor calidad*. Obtenido de Noticias Ambientales: <https://noticiasambientales.com/compromiso-ambiental/los-cultivos-hidroponicos-son-las-nueva-manera-de-cultivar-y-logra-la-mejor-calidad/>

Organización Panamericana de la Salud. (1966). *APUNTES DEL CURSO INTENSIVO Bombas para agua potable*. Washington D.C.

Ramírez Guzmán, G. A. (2017). *Sistema de producción hidropónica de lechuga*. Lima.

Sánchez Torres, M. A. (2019). *Diseño de un sistema de riego automatizado por medio de electroválvulas para cultivos hidropónicos de pequeña escala*. Bogotá.

Taizhou Dongchun motor Co., ltd. (29 de Mayo de 2023). *DongChun*. Obtenido de Comprender el papel de los motores eléctricos en las bombas industriales: <https://iecmotores.com/es/understanding-the-role-of-electric-motors-in-industrial-pumps/>

Torres Ruiz, C. (2021). Estudio de viabilidad para la creación de redes de sensores de bajo consumo y largo alcance de transmisión de datos en entornos abiertos.

Correa, N. M., Santamaria, M., Guerra, S., Moreno, J. E., & Moreno, Y. E. (2017). Selección de sensores para la adquisición de datos atmosféricos utilizando la plataforma de hardware libre arduino. *Tecnociencia*, 19(2), 103-120.

Carbajal, E. E. F. (2012). *Redes de sensores inalámbricas aplicado a la medicina*. Universidad de cantabria

Rawinad Sánchez, V. (2015). *Diseño e implementación de un sistema de telemetría espacial de bajo coste (Master's thesis)*.

FELIPE, N. C. I., LUIS, H. B., EDGAR, V. M., & MARLON, R. C. Segundo Proyecto Electrónica (IE0313) Fotorresistores.

Serna, A., Ros, F., & Rico, J. C. (2010). *Guía práctica de sensores*. Creaciones copyright SL.

Bermúdez Alegre, D. (2014). *Riego de huerta automatizado por Arduino*.

Alulema Bejarano, I. A. (2022). *Diseño y construcción de un sistema de bombeo y riego alimentado mediante un panel fotovoltaico con electroválvulas y aspersores para la irrigación de la Hostería Casa Maya*.

*Adafruit si7021 temperature & humidity sensor breakout board - STEMMA QT*. (s. f.). adafruit. <https://www.adafruit.com/product/3251>

*El sistema NFT*. (s. f.). Groho. <https://www.groho.es/post/el-sistema-nft-hidroponia>

Frey, T. (2007, 13 agosto). *La lechuga (Lactuca sativa var. capitata)*. alamy. <https://www.alamy.es/foto-la-lechuga-lactuca-sativa-var-capitata-13699608.html?imageid=3D183C2C-518A-405D-8196%20FD0D9A8C119A&p=32908&pn=1&searchId=864f2c8aecd398f6bfb04bfc9da273b4&searchtype=0>

*Glyduino-higrómetro de suelo de FC-28, módulo de detección de humedad, Sensor de agua y humedad para Arduino.* (s. f.). AliExpress. <https://es.aliexpress.com/item/32435196705.html?gatewayAdapt=glo2esp>

*Gowe pequeñas bomba peristáltica oem19.* (s. f.). Amazon. <https://www.amazon.com/-/es/Gowe-peque%C3%B1as-Bomba-perist%C3%A1ltica-oem19/dp/B00Q8C48PC>

Holandés, E. (2016, 4 julio). *La historia de la hidroponía*. El Holandés Picante. <https://elholandespicante.com/plantas/la-historia-la-hidroponia/>

*Hydrofarm - Bomba de Agua Sumergible para Hidroponía.* (s. f.). Hydrocultura. <https://hydrocultura.com/products/hydrofarm-bomba-de-agua-sumergible-para-hidroponia>

*Las 5W del cultivo hidropónico: Qué, cómo, cuándo, quién, dónde y por qué.* (2023, 31 enero). Arado. <https://i0.wp.com/arado.com.do/wp-content/uploads/2023/01/Huerto-hidroponico.jpg?resize=750%2C350&ssl=1>

*Lechuga Batavia Rubia - 1000 semillas.* (s. f.). Seednative. <https://www.seednative.es/Lechuga-Batavia-Rubia-1000-semillas-d765.htm>

*Lechuga china (莴笋).* (2020, 20 agosto). EsChinaSpace. <https://www.eschinaspace.com/receta-lechuga-china-marinada/>

*MODULO WIFI ESP8266 ESP-01.* (s. f.). cd tecnologia. <https://cdtecnologia.net/placas-electronicas/1925-modulo-wifi-esp8266-esp-01.html>

*RELE 5V 2 CANALES CON OPTOACOPLADOR.* (s. f.). Robotics. <https://roboticsec.com/producto/rele-5v-2-canales-con-optoacoplador/>

*Sensor Temperatura SH31.* (s. f.). AFEL. <https://afel.cl/producto/sensor-temperatura-sht31/>

*Top 5 beneficios de una bomba centrífuga.* (s. f.). Rotoplas. <https://rotoplascentroamerica.com/top-5-beneficios-de-una-bomba-centrifuga/>



*TSL2561 Luminosity Sensor.* (2023, 29 agosto). Adafruit.  
<https://www.bolanosdj.com.ar/MOVIL/ARDUINO2/SensoresTemArdui.pdf>

Voenny, V. (2019, 19 agosto). *Verde lechuga romana aislado sobre fondo blanco.* alamy.  
<https://www.alamy.es/verde-lechuga-romana-aislado-sobre-fondo-blanco-image265674886.html?imageid=A22DD186-7A37-42F8-86FA-49F73607C48C&p=164031&pn=1&searchId=64137be6740110b32751e618d1477145&searchtype=0>