

TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE COACALCO

**Control PID para la posición de un péndulo simple
por medio de una plataforma IoT**

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERA EN MECATRÓNICA
CON ESPECIALIDAD EN:
PROCESOS DE MANUFACTURA

P R E S E N T A

MENESES MONTOYA ITZEL
MATRICULA 201420053

DIRECTOR:

M. EN C. MARIO ALBERTO HERNÁNDEZ SORIANO

Coacalco de Berriozábal, diciembre de 2024

Dedicatorias

El presente trabajo se lo dedico a mi familia, pero especialmente a mi madre, quien es aquella persona que siempre estuvo a mi lado brindándome su apoyo y sus consejos en todo el trayecto de mi vida, haciendo de mí una mejor persona.

Sin ella no hubiera logrado estar hasta donde me encuentro ahorita. Gracias por ser mi ejemplo a seguir, por enseñarme a afrontar las dificultades sin perder nunca la cabeza ni morir en el intento.

Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a mi madre por su amor incondicional y su apoyo para poder cumplir mis logros, por siempre creer en mí. Ella con su cariño me ha impulsado a perseguir mis metas y nunca abandonarlas a pesar de las circunstancias.

A mi esposo por estar conmigo en los momentos buenos y malos, y nunca abandonarme, este proyecto no fue fácil, pero tuve su apoyo y motivación hasta donde sus alcances lo permitieron.

Quiero agradecer a mi director de proyecto de investigación por su dedicación y paciencia que contribuyeron en la realización de este proyecto, pues sin sus correcciones y palabras de aliento no hubiera podido lograrlo.

A mis profesores que tuve durante mi carrera universitaria por transmitirme los conocimientos necesarios para mi formación profesional y a la universidad por permitirme estudiar en su casa de estudios y darme la oportunidad de terminar una carrera profesional.

Resumen

El internet de las cosas es un tema emergente de gran importancia en la actualidad. Es un concepto que se ha vuelto cada vez más popular en los últimos años. Es aquella tecnología que permite conectar dispositivos electrónicos a internet y hacer que interactúen entre sí, logrando una interconexión en tiempo real, desde el hogar hasta lo industrial.

En este trabajo se utilizó Arduino Cloud como plataforma IoT junto con el microcontrolador ESP 32 para desarrollar una plataforma de monitoreo y control PID de un péndulo simple, se explica su desarrollo desde la instalación de la plataforma, hasta el montaje con el microcontrolador ESP 32, en los resultados se presenta la interfaz que muestra la dinámica del péndulo en tiempo real ya sea desde la pantalla de la computadora, o bien, desde la pantalla de cualquier dispositivo móvil.

ÍNDICE

Capítulo I. Generalidades	10
1.1 Introducción	10
1.2 Justificación	11
1.3 Planteamiento del problema.....	11
1.4 Antecedentes	11
1.5 Objetivos	13
1.5.1 Objetivo general	13
1.5.2 Objetivos específicos.....	13
1.6 Hipótesis	13
1.7 Alcances y limitaciones	13
Capítulo II. Marco Teórico.....	14
2.1 Qué es IoT (Definicion).....	14
2.2 Historia de la IoT	14
2.3 ¿Cómo funciona la IoT?.....	15
2.4 Objetivos de la IoT.....	16
2.5 Ventajas y Desventajas de la IoT	16
2.5.1 Ventajas de IoT.....	17
2.5.2 Desventajas de la IoT	17
2.6 Aplicaciones de la IoT	18
2.6.1 Wearables	18
2.6.2 Salud	19
2.6.3 Automatización del hogar.....	19
2.6.4 Agricultura.....	20
2.6.5 Logística y Transporte	20
2.6.6 Ciudades inteligentes.....	20
2.6.7 Industria	21
2.6.8 Gestión de flotas	21
2.6.9 Hotelería	21
2.7 Ecosistemas de IoT	22
2.7.1 Definición de Ecosistema IoT	22
2.8 Dispositivos IoT.....	23

2.8.1	Tipos de Dispositivos	23
2.8.2	Marcas Involucradas.....	26
2.9	Protocolos y Conectividad de IoT.....	29
2.9.1	Protocolos del IoT	29
2.9.2	Conectividad de IoT	30
2.10	Plataformas de IoT	32
2.10.1	Definición.....	32
2.10.2	Propiedades de una Plataforma IoT	32
2.10.3	Plataformas IoT de Código Abierto	33
2.10.4	Plataformas Comerciales.....	36
2.11	Arduino Cloud	38
2.11.1	Componentes de Arduino IoT Cloud	38
2.11.2	Beneficios de Arduino Cloud.....	39
2.11.3	Propiedades de Arduino Cloud	39
2.11.4	Software para Arduino Cloud	39
2.11.5	Primeros pasos con la nube Arduino.....	40
2.11.6	Solución de problemas de la nube Arduino	41
2.12	ESP 32.....	42
2.12.1	Definición de ESP 32	42
2.12.2	Características técnicas	42
2.12.3	Entornos y lenguajes de programación	44
2.12.4	Aplicaciones del ESP32	46
2.13	Control PID.....	47
2.13.1	Definición.....	47
2.13.2	Funcionamiento de un control PID	47
2.13.3	Parámetros fundamentales.....	47
2.13.4	Ecuación del controlador PID	48
2.13.5	Ventajas y desventajas de un controlador PID.....	49
2.13.6	Sistemas de control.....	49
2.13.7	Sintonización PID por Ziegler – Nichols	51
Capítulo III. Desarrollo.....		53
3.1	Creación de cuenta en la plataforma Arduino cloud.....	53
3.2	Conexión Esp 32 con plataforma Arduino cloud.....	55

3.3 Algoritmo para el Control PID	61
3.4 Programación del control PID	62
3.5 Dashboard Arduino cloud	63
3.6 Diagrama de conexión del péndulo.....	66
3.6.1 Conexión con el motor	67
3.6.2 Conexión con el Potenciómetro	67
Capítulo IV. Resultados.....	68
Capítulo V. Conclusiones	71
Fuentes de Información	72

INDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1. Arduino Cloud y ESP 32 [3]	11
Figura 2. Hogar activado por voz [4]	12
Figura 3. Control de electrodomésticos [7]	12
Figura 4. Internet de las cosas [10].....	14
Figura 5. Funcionamiento del Internet de las Cosas [14].....	15
Figura 6. Objetivos del Internet de las Cosas [15]	16
Figura 7. Ventajas y Desventajas del Internet de las Cosas [17].....	18
Figura 8. Aplicaciones del Internet de las Cosas [21]	18
Figura 9. Automatización del hogar [23]	19
Figura 10. Ciudades Inteligentes [27]	20
Figura 11. Internet de las Cosas en la Hotelería [31]	21
Figura 12. Ecosistema de IoT [33]	22
Figura 13. Dispositivos del Internet de las Cosas [36].....	23
Figura 14. Dispositivos IoT para Consumo [40]	24
Figura 15. Wearables [43]	24
Figura 16. Dispositivos IoT en Medicina [47]	25
Figura 17. Rolls Royce [49]	26
Figura 18. Walt Disney World [51].....	27
Figura 19. Microsoft [55]	28
Figura 20. Empresa Google [56]	28
Figura 21. Empresa IBM [59]	29
Figura 22. Protocolos del Internet de las Cosas [61].....	30
Figura 23. Conectividad del Internet de las Cosas [63].....	30
Figura 24. Tipos de Conectividad [65].....	31
Figura 25. Plataformas del Internet de las Cosas [67]	32
Figura 26. Plataformas IoT de código abierto [70]	33
Figura 27. Open Remote [71].....	34
Figura 28. Flutter [70]	34
Figura 29. Arduino IoT Cloud [75]	35
Figura 30. Plataforma Kinoma [70].....	36
Figura 31. Plataforma Google Cloud [78].....	37
Figura 32. Plataforma ThingSPEAK [76]	37
Figura 33. Knowi [79]	38
Figura 34. Componentes de Arduino Cloud [81]	39
Figura 35. Software para Arduino Cloud [81].....	40
Figura 36. Cuenta de Arduino Cloud [82].....	40
Figura 37. Solución de problemas [80]	41
Figura 38. ESP 32 [83]	42
Figura 39. Características técnicas del ESP32 [85]	44

Figura 40. Arduino IDE para ESP32 [87]	45
Figura 41. Programa IDE para ESP 32 [88]	45
Figura 42. Thonny IDE [88].....	46
Figura 43. Aplicaciones del ESP 32 [89]	46
Figura 44. Control PID [91]	47
Figura 45. Parámetros fundamentales del PID [92]	47
Figura 46. Ecuación del Controlador [91].....	48
Figura 47. Sistemas de Control [96].....	49
Figura 48. Sistema de Control de lazo abierto [97].....	50
Figura 49. Sistema de Control de lazo cerrado [97].....	50
Figura 50. Ziegler - Nichols a lazo abierto [99]	51
Figura 51. Valores de sintonización a lazo abierto [99].....	52
Figura 52. Ziegler - Nichols a lazo cerrado [99]	52
Figura 53. Valores de sintonización a lazo cerrado [99]	52
Figura 54. Página principal de Arduino Cloud.....	53
Figura 55. Página de inicio de sesión	53
Figura 56. Registro de fecha de nacimiento	54
Figura 57. Registro de datos básicos	54
Figura 58. Página de Inicio de sesión iniciada	55
Figura 59. Página de registro de dispositivos.....	55
Figura 60. Configurar nuevo dispositivo.....	56
Figura 61. Opciones para la selección de dispositivos	56
Figura 62. Dispositivos de terceros	57
Figura 63. Nombre del dispositivo	57
Figura 64. ID y Secret Key.....	57
Figura 65. Mensaje de configuración exitosa.....	58
Figura 66. Dispositivo asociado	58
Figura 67. Configuración de red Wifi	58
Figura 68. Datos de red Wifi	59
Figura 69. Declaración de la variable de posición angular	59
Figura 70. Declaración de la variable Setpoint	60
Figura 71. Configuración del proyecto.....	60
Figura 72. Código generado automáticamente.....	61
Figura 73. Código de control PID	62
Figura 74. Valor de referencia.....	62
Figura 75. Detección de la tarjeta.....	63
Figura 76. Carga del programa a la tarjeta ESP 32	63
Figura 77. Home Arduino Cloud.....	63
Figura 78. Agregar componentes al Dashboard	64
Figura 79. Selección de slider	64
Figura 80. Asociar una variable al slider.....	64

Figura 81. Elección de la variable setPoint	65
Figura 82. Configuración final del slider	65
Figura 83. Selección de char	65
Figura 84. Dashboard	66
Figura 85. Dashboard aplicación móvil.....	66
Figura 86. Pinout ESP32	66
Figura 87. Conexión IRF630.....	67
Figura 88. Conexión potenciómetro	67
Figura 89. Prototipo péndulo.....	68
Figura 90. Dashboard con Setpoint = 45° y grafica de respuesta.....	68
Figura 91. Péndulo posicionado a 45°	69
Figura 92. Dashboard con Setpoint = 10° y grafica de respuesta.....	69
Figura 93. Péndulo posicionado a 10°	69
Figura 94. Dashboard en aplicación móvil.....	70

Capítulo I.

Generalidades

1.1 Introducción

En la actualidad, la sociedad en la que vivimos se ha hecho dependiente de la tecnología, gracias a ella y con ayuda del internet de las cosas es posible que el ser humano pueda manejar cualquier dispositivo desde cualquier lugar siempre y cuando se encuentre conectado a internet.

El internet de las cosas es un concepto global el cual pretende proporcionar información en tiempo real mediante la conexión de los dispositivos que posee el entorno y así poder mejorar la comunicación y el control del entorno.

Este proyecto está dividido en cinco capítulos los cuales están estructurados de la siguiente manera:

- En el capítulo número uno se encuentra la introducción de nuestro proyecto, este capítulo se encargará de explicar los aspectos relevantes que dieron pie a este trabajo.
- En el capítulo número dos se platica acerca de la definición del internet de las cosas, cuáles son sus principales características, de que está conformada, como es su funcionamiento, así mismo que plataformas trabajan con ella. Se explica en que área se encuentra aplicada, así como también sus pros y sus contras que tiene.
- En el capítulo número tres se explica el desarrollo de la plataforma de internet de las cosas, mediante Arduino Cloud junto con el microcontrolador ESP 32, en donde explica desde la instalación de la plataforma hasta el montaje con el microcontrolador ESP 32, así como también la visualización en la interfaz IoT que muestra en pantalla los datos adquiridos por péndulo.
- Por último, en el capítulo cuatro se muestran los resultados obtenidos, visualizando la interfaz con los datos que se obtuvieron en la realización de la aplicación de Arduino Cloud.
- Las conclusiones obtenidas se detallan en el capítulo cinco.

1.2 Justificación

Hoy en día, el uso de tecnologías referentes al internet de las cosas es una realidad que nos acompaña cada vez con mayor frecuencia, en el ámbito industrial es la misma tendencia, por lo que, el desarrollo de sistemas de control y monitoreo de procesos automatizados es importante.

1.3 Planteamiento del problema

El control y monitoreo de procesos automatizados suelen acompañarse por sistemas informáticos dedicados a monitorear los procesos, así como, ejecutar los algoritmos de control, lo que implica que el ajuste del Setpoint se tiene que hacer directamente en el sitio en donde se encuentra el proceso.

1.4 Antecedentes

1. Arduino Cloud y ESP 32 fue utilizado para poder controlar un relay y así monitorear el porcentaje de humedad de un sensor de suelo HL – 69 mediante un dashboard en la web o bien desde una aplicación móvil desde el teléfono celular [1].
2. En un sistema de control y monitoreo del hogar, flexible y confiable con seguridad adicional es utilizando el ESP32 con conectividad IP a través de Wi – Fi local para acceder y controlar dispositivos por parte del usuario de forma remota mediante una aplicación Arduino [2].
3. Arduino Cloud con ESP 32 sirve para monitorear la temperatura y la humedad, así como también poder controlar LED [3].

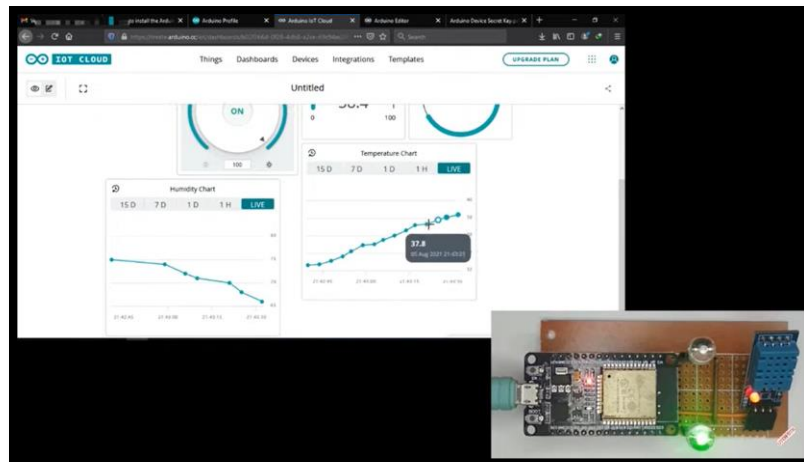


Figura 1. Arduino Cloud y ESP 32 [3]

4. Con la ayuda de Amazon, Arduino Cloud y ESP 32 tu espacio se transforma en un refugio inteligente controlado por voz, desde la iluminación hasta la temperatura [4].

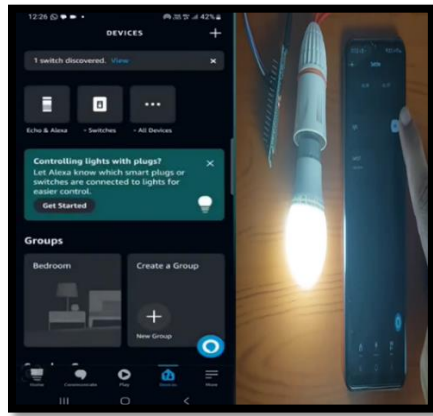


Figura 2. Hogar activado por voz [4]

5. Con Arduino Cloud se controla un LED en una placa ESP 32 así como también se monitorean los datos como temperatura y humedad utilizando un sensor DHT11 [5].
6. Se desarrollo un sistema de seguimiento del nivel del agua que utilice el Internet de las Cosas. El sistema de monitoreo del nivel del agua está compuesto por un ESP 32 que será utilizado para transmitir datos del nivel del agua, mientras que la aplicación de Arduino Cloud se utiliza como panel en donde el usuario podrá inspeccionar los niveles de agua dentro de los tanques de agua sin tener que examinarlas manualmente [6].
7. Con ayuda de Arduino Cloud Dashboard es controlado el encendido o el apagado de distintos electrodomésticos desde el teléfono móvil, la cual se conecta mediante un relé de cuatro canales con el módulo ESP 32 [7].

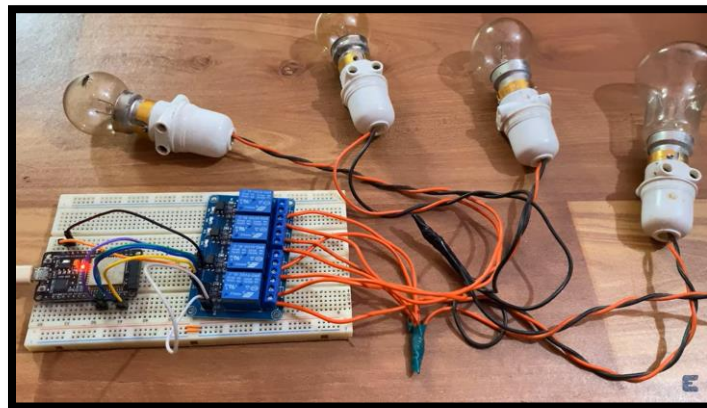


Figura 3. Control de electrodomésticos [7]

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Implementar un controlador PID en un péndulo simple, controlado y monitoreado remotamente a través de la plataforma Arduino Cloud.

1.5.2 Objetivos específicos

- Realizar la conexión de la tarjeta ESP32 con Arduino Cloud.
- Programar el controlador PID en la tarjeta ESP32.
- Realizar el Dashboard de la interfaz IoT en Arduino Cloud.
- Pruebas de funcionamiento.

1.6 Hipótesis

La implementación de procesos para su control y monitoreo mediante la interacción remota de plataformas de internet de las cosas gratuitas son una opción para considerar en procesos de control.

1.7 Alcances y limitaciones

Se utilizará un prototipo con el que ya se contaba previamente, la tarjeta ESP 32 se utilizará para programar el controlador PID, la tarjeta será capaz de leer la posición angular y escribir una señal PWM al motor de corriente directa, la tarjeta será conectada a la red Wifi y vinculada al Dashboard de Arduino Cloud, desde Arduino Cloud se recibirá la información de la posición angular enviada por la tarjeta y el ajuste del SetPoint será enviado desde el Dashboard por medio de un slider, el Setpoint será recibido por la tarjeta, la versión de la plataforma de Arduino Cloud a utilizar será la versión más gratuita.

2.3 ¿Cómo funciona el Internet de las Cosas?

Un sistema IoT consiste en sensores o dispositivos que se comunican con la nube mediante una forma de conectividad. Una vez que los datos llegan a la nube, el software los procesa y este define si es necesario realizar alguna acción, como ajustar los sensores o dispositivos, sin que el usuario deba intervenir o enviar una alerta [13].

Existen cuatro elementos diferentes en un sistema de IoT completo los cuales se explicarán a continuación:

- **Sensores o Dispositivos:** Son aquellos que recopilan datos de su entorno para un propósito en particular.
- **Conectividad:** Una vez que el dispositivo recopile los datos, deberá enviarlos a la nube, esto puede ser de diferentes formas ya sea por conexión Wi-Fi, Bluetooth, satélite, etc.
- **Procesamiento de datos:** En este elemento los datos llegan a la nube, el software los procesa y determina si debe realizar o no una acción. Así como también puede enviar una alerta o ajustar automáticamente los sensores o dispositivos sin intervención del usuario.
- **Interfaz de usuario:** Si la intervención del usuario es necesaria o si se requiere controlar el sistema, la interfaz de usuario lo hace posible. Cualquier acción realizada por el usuario se envía en la dirección opuesta a través del sistema. Es decir, desde la interfaz de usuario a la nube, y de vuelta a los sensores o dispositivos para llevar a cabo el cambio solicitado.

La conectividad, la red y los protocolos de comunicación particulares utilizados por los dispositivos habilitados para la web pueden variar en función de las aplicaciones de IoT específicas. A medida que pasa el tiempo la IoT utiliza la inteligencia artificial (IA) y el aprendizaje automático para facilitar y agilizar los procesos de recopilación de datos.

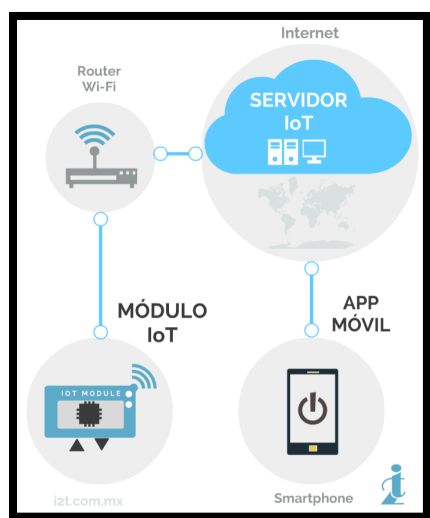


Figura 5. Funcionamiento del Internet de las Cosas [14]

2.4 Objetivos del Internet de las Cosas

El Internet de las Cosas tiene cuatro objetivos principales los cuales se describirán a continuación [11]:

- **Interconectividad:**

Como primer objetivo es montar una interconectividad digitalizada y automatizada entre objetos, es decir, crea nexos que permitan una comunicación continua entre las cosas a través de sensores, softwares, inteligencia artificial y sistemas computarizados.

- **Automatización:**

La automatización es aquella que se encarga del monitoreo del funcionamiento y la condición de objetos y personas, así como también la obtención y envío de datos que es una de las finalidades básicas en que se funda la operatividad del internet de las cosas.

- **Ahorro de recursos:**

Es uno de los objetivos importantes del internet de las cosas la cual se basa en la disminución de costos que se genera en los diferentes espacios donde opera; por ejemplo, en la logística de una empresa que requiere de un almacén para guardar sus productos, el internet de las cosas hace posible el ahorro de considerables cantidades de dinero en la contratación de personal, debido a que las funciones de control y mantenimiento de inventario se efectúan de manera totalmente automatizada.

- **Funcionalidad, comodidad y seguridad:**

El ultimo objetivo consiste en mejorar la calidad de vida de quienes lo usan y aplican, es decir, el internet de las cosas pretende hacer de la vida individual y social algo práctico, cómodo y seguro.



Figura 6. Objetivos del Internet de las Cosas [15]

2.5 Ventajas y Desventajas del Internet de las Cosas

Más allá de la propia tecnología, se debe tener en cuenta las ventajas y desventajas del internet de las cosas. Es decir, se trata de una tecnología con grandes posibilidades, pero también plantea algunas dudas que conviene tener en consideración al respecto [16].

2.5.1 Ventajas del Internet de las Cosas

- **Eficiencia:** Son aquellas interacciones entre máquinas, estas propician un rendimiento más eficiente y permiten que las personas tengan más tiempo para realizar otras tareas.
- **Automatización:** Es la encargada de llevar la uniformidad en las tareas, lo que puede mejorar la calidad de los servicios y reducir la necesidad de intervención de las personas [13].
- **Ahorro de gastos:** En una mayor eficiencia y automatización pueden minimizar tanto los residuos como los costos de mano de obra, por lo que la fabricación y la entrega de productos se hace menos costosa.
- **Control de calidad:** Es el encargado de facilitar una mejor comunicación entre los dispositivos y permite que el control de calidad sea mejor.
- **Mayor transparencia:** Es la posibilidad de acceder a la información desde cualquier lugar, en cualquier momento y a través de cualquier dispositivo puede simplificar el proceso de toma de decisiones y favorecer una mayor transparencia [13].

2.5.2 Desventajas del Internet de las Cosas

- **Compatibilidad:** Si no existieran estándares de compatibilidad internacionales, podría haber problemas en la comunicación entre dispositivos de diferentes empresas.
- **Menos trabajos:** Dado que el internet de las cosas acelera la automatización, esta podría llegar a desplazar los empleos cualificados del lugar de trabajo.
- **Complejidad:** Teniendo en cuenta el gran tamaño del internet de las cosas y la cantidad de dispositivos que dependen de ella, una sola falla en el software o el hardware podría tener consecuencias desmedidas [13].
- **Privacidad y seguridad:** Con tantos dispositivos conectados a Internet, existe una importante cantidad de información en línea. Esto puede ocasionar que existan riesgos en torno a la privacidad y a la seguridad.

Las ventajas y desventajas del internet de las cosas son variadas e importantes. Mientras que las ventajas nos ofrecen grandes posibilidades y beneficios. Las desventajas nos plantean un escenario dudoso en el que no tenemos el control de la forma en que esperaríamos [16].

Sin embargo, se trata de una tecnología que ha llegado para quedarse y que, en consecuencia, tendremos que mejorar y saber adaptarla para aprovecharla al máximo al mismo tiempo que minimizamos sus posibles riesgos.



Figura 7. Ventajas y Desventajas del Internet de las Cosas [17]

En pocas palabras el internet de las cosas se puede definir como aquel término que alude a la conexión de objetos entre sí y con los seres humanos a través de Internet. Las aplicaciones de esta tecnología son múltiples, porque es ajustable a cualquier tecnología que sea capaz de aportar información relevante sobre su propio funcionamiento, sobre el desempeño de una actividad e incluso sobre las condiciones ambientales que necesiten monitorear y controlar a distancia [18].

2.6 Aplicaciones del Internet de las Cosas

Una aplicación del internet de las cosas es aquel conjunto de servicios y software que integra los datos recibidos de varios dispositivos de IoT. Esta utiliza tecnología de machine learning o inteligencia artificial (IA) para analizar datos y tomar decisiones informadas. Estas decisiones a su vez se comunican al dispositivo de IoT y este responde de forma inteligente a las entradas [19].

Para que cada producto del internet de las cosas funcione de manera correcta y eficiente, se requiere una aplicación bien desarrollada que sea compatible con la tecnología de punta que se encuentra en estos dispositivos. Las aplicaciones deben funcionar en tiempo real, de modo que complementen el dispositivo inteligente y hagan que la rutina del usuario sea más simple e intuitiva [20].



Figura 8. Aplicaciones del Internet de las Cosas [21]

2.6.1 Wearables

Son dispositivos pequeños que se encuentran equipados con sensores, con ayuda del hardware se realizan mediciones y lecturas; y con el software se puede recopilar y organizar los datos e información sobre algún usuario [18].

Algunos ejemplos pueden ser gafas virtuales, bandas de fitness, cinturones de rastreo.

2.6.4 Agricultura

La agricultura inteligente se puede definir como el uso y empleo de alta tecnología tiene como objetivo cultivar alimentos de manera limpia y sostenible. Esta aplicación consiste en la incorporación de procesos tecnológicos para beneficiar la productividad de los campos agrícolas y obtener una producción de forma sustentable [24].

En esta área el internet de las cosas se usa mediante el uso de dispositivos conectados a internet, para recolectar y analizar datos en tiempo real, así como también, sirva para monitorear la luz, la temperatura, la humedad, a través de sensores altamente tecnológicos e intuitivos. De modo que el trabajo sea menos manual y más tecnológico.

Algunos ejemplos de esta aplicación están los sistemas de riego automatizado, sensores de clima, drones y sistemas de control de calidad.

2.6.5 Logística y Transporte

El internet de las cosas en la logística tiene como objetivo automatizar los procesos y mejorar la gestión de almacenes y cadena de suministro. Esta consiste en que los productos o mercancías almacenados ofrezcan información en tiempo real acerca de su ubicación o de su estado [25].

El sector logístico pretende ir un paso más allá e implementar sistemas en tiempo real que permitan automatizar y gestionar de manera eficiente todo el proceso logístico, desde la fabricación del producto hasta su entrega final, pasando por las tareas de almacenamiento y distribución.

2.6.6 Ciudades inteligentes

El internet de las cosas desempeña un papel fundamental en el desarrollo de ciudades inteligentes, pues estas utilizan la tecnología y la conectividad para mejorar la calidad de vida de los ciudadanos, optimizar los servicios y recursos, y promover la sostenibilidad [26].

Algunas ciudades inteligentes son Singapur, Barcelona, Ámsterdam y Songdo (Corea del sur).

Entre los ejemplos que destacan en esta aplicación son la infraestructura inteligente, gestión de tráfico, servicios urbanos inteligentes, seguridad pública y participación ciudadana.



Figura 10. Ciudades Inteligentes [27]

2.6.7 Industria

En el sector industrial es de gran importancia pues permite una mayor eficiencia en la producción y un mejor control de los procesos.

Algunos ejemplos de este sector son el control de calidad, mantenimiento predictivo, seguimiento de activos y la automatización de procesos.

2.6.8 Gestión de flotas

La gestión de flotas es el proceso de gestión y organización de vehículos comerciales. Tiene como objetivo principal aumentar la eficiencia y productividad, al tiempo que se mejora la seguridad de los conductores y vehículos [28].

El internet de las cosas es muy importante en las compañías de flotas ya que este favorece el monitoreo de rutas, la identificación de los trayectos más eficientes, el análisis de rendimiento, el ahorro de combustible, la reducción de emisiones contaminantes al medio ambiente e incluso puede aportar información valiosa para mejorar la conducción de los vehículos [18].

2.6.9 Hotelería

El internet de las cosas en el área de hotelería trae interesantes mejoras en la calidad del servicio, es decir, trae beneficios que van desde permitir que las empresas ahorren costos de energía hasta brindar una mejor experiencia al cliente [29].

Esta tecnología permite a los dueños de los hoteles optimizar las condiciones dentro de su hotel, y así poder brindar una experiencia más personalizada para los huéspedes y reducir los tiempos de espera, con la automatización y los datos en tiempo real pueden ayudar a las empresas a identificar problemas e incluso evitar que estos ocurran.

Algunos ejemplos de esta tecnología en el área de hotelería pueden ser habitaciones hiperpersonalizadas, reparaciones y mantenimientos predictivos, tarjetas de acceso electrónico y servicio de atención al cliente controlado por voz [30].



Figura 11. Internet de las Cosas en la Hotelería [31]

2.7 Ecosistemas del Internet de las Cosas

2.7.1 Definición de Ecosistema (Internet de las Cosas)

Se le llama un ecosistema (Internet de las Cosas) a aquel sistema de dispositivos inalámbricos interconectados, este tiene la tarea de recopilar e intercambiar información. Con ayuda de tecnologías innovadoras el internet de las cosas impulsa numerosas y variadas innovaciones, tales como la cantidad de dispositivos que se pueden conectar y los datos que se pueden recopilar.

El ecosistema está compuesto por cuatro niveles los cuales se explicarán a continuación [32]:

- **Nivel de Dispositivos:** Es la combinación de sensores, hardware, software, que constituyen un dispositivo que se conecta a una red e interactúa con ella.
- **Nivel de Datos:** Este nivel es el encargado de que los datos que se recopilan, procesan, envían, almacenan y analizan presentan y usan contextos empresariales.
- **Nivel de Negocio:** Son las funciones empresariales de las tecnologías IoT, en donde aquí está incluida la administración de la facturación y el marketplaces de datos.
- **Nivel de usuario:** Son las personas que interactúan con dispositivos y el internet de las cosas.

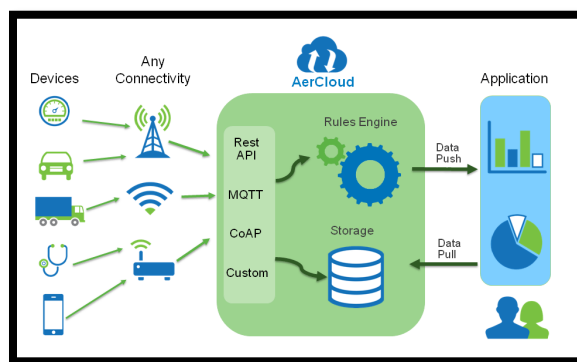


Figura 12. Ecosistema de IoT [33]

Los ecosistemas del internet de las cosas proporcionan a las empresas ciertos beneficios como son [34]:

- **Proporciona oportunidades nuevas para nuevas fuentes de ingresos:** A medida que esta tecnología siga ganando adeptos entre los consumidores y con el impulso de las nuevas tecnologías habrá una oportunidad de proporcionar nuevas ofertas que antes no eran necesarias.
- **Impulsa la eficiencia:** La eficiencia permitirá a las empresas a simplificar y automatizar los procesos, haciéndolos más eficientes, al mismo tiempo hace que la plantilla sea más productiva.

- **Alexa:** Es el servicio de voz que se encuentra ubicado en la nube de Amazon, con ella se puede crear experiencias de voz naturales para ofrecer a los clientes una forma más intuitiva de interactuar con la tecnología que se usa a diario [38].
- **Smart Echo Spot Smart Alarm:** Es un reloj despertador inteligente que puede realizar videollamadas, también puede convertirse en una cámara de guardería, tiene una pantalla de 2.5 pulgadas.
- **June Inteligente Oven:** Es un horno inteligente que llegó a la vida de las personas para facilitarles la preparación de los alimentos de una manera menos tradicional y más profesional [39].



Figura 14. Dispositivos IoT para Consumo [40]

2.8.1.2 Dispositivos de uso Comercial

- **Tracker de paquetería:** Es aquel seguimiento que se realiza de productos o paquetes desde su producción hasta su distribución. Es una herramienta imprescindible y de gran utilidad tanto para las empresas como para el cliente [41].
- **Puertos inteligentes:** Son utilizados para facilitar un proceso constante de mayor velocidad, eficacia, sostenibilidad y control de costes.

2.8.1.3 Dispositivos de uso Militar

- **Robot de Vigilancia:** Es aquel que recopila y almacena una gran cantidad de datos en tiempo real. Para luego ser analizados, encontrar patrones y poder mejorar los protocolos de seguridad [42].
- **Wearables biométricos:** Son aquellos dispositivos electrónicos cuya principal característica es que pueden ser portados como accesorio en la ropa. Pueden ser relojes inteligentes, pulseras, gafas o chips con sensores.



Figura 15. Wearables [43]

2.8.1.4 *Dispositivos de uso Industrial*

- **Airbus:** Mejor conocida como la fábrica del futuro, esta lleva a cabo mediante el IoT todos aquellos procesos de fabricación para mejorar la operativa y aumentar la producción
- **Navdy Smart Navigation System:** Combina una pantalla de proyección de alta calidad por medio de controles de voz y gestos para crear una experiencia de conducción más segura [23].

2.8.1.5 *Dispositivos e Infraestructuras*

- **Detección de movimientos estructurales:** Son sensores de movimiento que detectan vibraciones en edificios, puentes u otras estructuras a gran escala. Estos dispositivos pueden identificar anomalías y perturbaciones que podrían provocar fallos catastróficos [44].
- **Smart Enviroment:** Este es el encargado de monitorear y optimizar el uso de los recursos naturales como pueden ser agua, luz, gas entre otras cosas.
- **Smart Roads:** Son carreteras inteligentes que cuentan con sistemas para mejorar la seguridad vial y que contribuya a una movilidad más eficiente, por ejemplo, los semáforos que se activan en función del flujo de tráfico o el paso de peatones que detectan automáticamente la presencia de personas, se iluminan y señalan el ritmo del cruce [45].

2.8.1.6 *Dispositivos en la Medicina*

El internet de las cosas en el área de la salud es una tendencia en la cual se utilizan dispositivos inteligentes para mejorar la salud del paciente. Estos dispositivos tienen como objetivo principal brindar una experiencia más personalizada a los pacientes para que tengan más control sobre su propia salud [46].



Figura 16. Dispositivos IoT en Medicina [47]

2.8.1.7 *Dispositivos para la vida cotidiana*

- **Seguridad en el hogar:** Son los sensores de luces, alarmas y cámaras que pueden proporcionar seguridad las veinticuatro horas del día los siete días de la semana.

- **Cerraduras inteligentes:** Son los dispositivos que te ayudaran a abrir la puerta de tu casa al repartidor cuando no estás para recoger el paquete y activa la grabación de una cámara de seguridad mientras se desarrolla la operación.
- **Calidad del aire en interiores:** Son aquellos dispositivos que puede medir la contaminación en interiores estos también ayudan a mejorar la calidad del aire o limpiar los gérmenes en casas, cafés, lugares de trabajo y otros espacios interiores [44].
- **Electrodomésticos conectados:** Un ejemplo de electrodoméstico conectado es el microondas que se activa y calienta la comida cuando el usuario sale del trabajo hacia casa.
- **Asistentes virtuales:** Son dispositivos que controlan y permiten realizar infinidad de tareas como Google Home, Alexa, entre otras.

2.8.2 Marcas Involucradas

La Internet de las Cosas ha transformado muchos negocios y muchas marcas. Lo cual estas estaban acostumbradas a fórmulas tradicionales de las que era difícil salir, algunas de ellas no tenían mucho más allá que ofrecer en los últimos tiempos. Pero la competitividad del mercado y la necesidad de diferenciarse les ha hecho evolucionar gracias a un cambio tecnológico [48].

2.8.2.1 *Rolls Royce*

La famosa marca de automóviles de lujo, ha invertido en sensores que tendrán los motores, se esperan que genere información en tiempo real, es decir, este pueda reportar de forma remota, sobre las condiciones del motor y sus necesidades de mantenimiento.



Figura 17. Rolls Royce [49]

2.8.2.2 *UPS*

La gran empresa dedicada a la mensajería, ha adoptado el uso de esta tecnología para contribuir con el medio ambiente, ya que es a través del internet de las cosas que puede monitorear el kilometraje de sus unidades, la velocidad ideal para contaminar lo menos posible, y la salud total del motor.

2.8.2.3 *Walt Disney World*

La industria del entretenimiento es una de las más activas en la implementación de tecnología a las experiencias que tienen los usuarios. Disney World ha creado “MagicBand”, un wearable que contiene etiquetas RFID.

Con esta banda, los visitantes al parque pueden hacer check-in, comprar comida y ganar pases o viajes con el simple hecho de registrar su banda en los módulos indicados.

Esta información es de gran utilidad para Disney porque puede registrar el movimiento de los visitantes a través del parque, determinando qué áreas o atracciones son más visitadas, o cuales, por el contrario, necesitan mayor empuje [50].



Figura 18. Walt Disney World [51]

2.8.2.4 *British Gas*

Esta empresa petroquímica del Reino Unido, está expandiendo su interacción con el internet de las cosas a través de Hive, un medidor inteligente que puede controlar el uso y suministro de agua caliente o fría de forma remota. Lo cual la empresa está desarrollando plataformas nuevas que le permitirá ofrecer a sus usuarios, diversas aplicaciones para controlar y administrar mejor el suministro de gas en sus hogares.

2.8.2.5 *Amazon Web Services*

AWS ofrece servicios y soluciones del Internet de las cosas (IoT) para conectar y administrar miles de millones de dispositivos. Recopile, almacene y analice los datos de IoT de las cargas de trabajo industriales, de consumo, comerciales y automotrices [52].

2.8.2.6 *Oracle*

Oracle es aquella herramienta importante para la gestión de bases de datos, es usada principalmente por las grandes empresas para que estas puedan controlar y gestionar una gran cantidad de contenidos desde un solo archivo. Cuenta con un conjunto de servicios, esta incluye una plataforma para habilitar Java en dispositivos integrados con sensores, una plataforma de middleware para la creación de aplicaciones, para poder capturar dato y base de estos para almacenar todo [53].

2.8.2.7 *Salesforce.com*

Salesforce.com considera que el internet de las cosas es una nueva oportunidad para que los profesionales de marketing obtengan una visión más profunda de sus prospectos y clientes. Pues los dispositivos conectados a este permiten a los directores conocer cómo se evalúan y utilizan sus productos, en que etapa del proceso se encuentran y saber qué factores pueden influir en el comportamiento de su compra.

2.8.2.8 *Microsoft*

Microsoft es una compañía multinacional centrada en el área tecnológica, la cual es la encargada de ofrecer una gran variedad de software y hardware de excelente calidad. Esta compañía nos dice que el internet de las cosas sea aplicable a las actividades diarias de una empresa. Esto se deberá realizar a través de una variedad de productos, incluyendo sistemas operativos personalizados que son destinados a recopilar y analizar datos, así como a través de productos en su nube [54].



Figura 19. Microsoft [55]

2.8.2.9 *Google*

La empresa Google causó revuelo en el mercado del internet de las cosas, cuando compró Nest, compañía que vende termostatos y detectores de incendios "inteligentes", lo que significa que aprenden patrones e interactúan con sus dueños.

Google espera desempeñar un papel importante en el mundo del Internet de las Cosas ya que está mirando más allá de Nest, lo cual pretende aspirar a un mundo donde la calefacción, la iluminación y los aparatos estén todos conectados y brinden auto respuesta a los usuarios.



Figura 20. Empresa Google [56]

2.8.2.10 Cisco

Cisco es una empresa de origen estadounidense es el encargado de fabricar dispositivos para redes locales y externas, así como también presta el servicio de soluciones de red, su principal objetivo es conectar a todos y demostrar las cosas asombrosas que se pueden lograr con una visión clara del futuro [57].

2.8.2.11 IBM

Esta empresa hacer del mundo un lugar más inteligente y ve al internet de las cosas jugando un papel importante al respecto. IBM cuenta con una variedad de productos, incluyendo una plataforma de mensajería para datos de máquina a máquina llamada MessageSight, junto con MobileFirst, que da a los objetos capacidades móviles, y BlueMix, una plataforma de desarrollo para aplicaciones que pueden gestionar la recopilación y el análisis de datos IoT [58].



Figura 21. Empresa IBM [59]

2.9 Protocolos y Conectividad (Internet de las Cosas)

2.9.1 Protocolos del Internet de las Cosas

Los protocolos del internet de las cosas es aquel conjunto de normas y reglas que permiten a dos identidades entenderse e intercambiar información, facilitando la comunicación Machine to Machine (M2M).

Para su buen funcionamiento, los protocolos utilizados en las redes del internet de las cosas tienen varias capas las cuales se mencionan a continuación [60]:

- **Aplicación:** Es la interfaz entre el usuario y el dispositivo.
- **Red:** Es aquella que potencia la comunicación entre el router y cada uno de los dispositivos conectados a la red.
- **Transporte:** Es el encargado de facilitar la comunicación de datos entre los distintos niveles y garantiza su seguridad.
- **Física:** Es la red de comunicación física entre dispositivos.

- **Campo de cobertura:** Cada dispositivo cuenta con un nivel de detección de redes variable, por lo que es fundamental que al momento de instalar un centro de conexiones de red se tenga presente esto.
- **Ancho de banda:** En la actualidad, muchos dispositivos que tienen conexión a internet de las cosas consumen una cantidad elevada de datos para mantenerse siempre comunicados, así que se deberá implementar centros de comunicación que sean capaces de cubrir esta demanda de comunicación.

2.9.2.2 Tipos de conectividad (Internet de las Cosas)

- **Conectividad celular:** Es la conectividad que se utilizan en los teléfonos móviles o tabletas cuando no hay otro punto de acceso para conectarse a la red. Esta conectividad se da gracias a usos de chips que van implantados en las placas bases de dichos dispositivos.
- **Conectividad Wifi:** En esta conectividad los dispositivos se mantienen activos en la red al transmitir información a un router, este funciona como un receptor masivo que envía datos a centros de control para su posterior almacenaje. Con la conectividad Wifi pueden conectarse más de dos dispositivos al mismo tiempo
- **Conectividad Bluetooth:** Gracias al desarrollo en los últimos años, pero su uso en diversos dispositivos ya no consume una cantidad excesiva de energía. Esta conectividad se caracteriza por ser de corto alcance, pero ofrece velocidades de transmisión de hasta 2 Mbps.

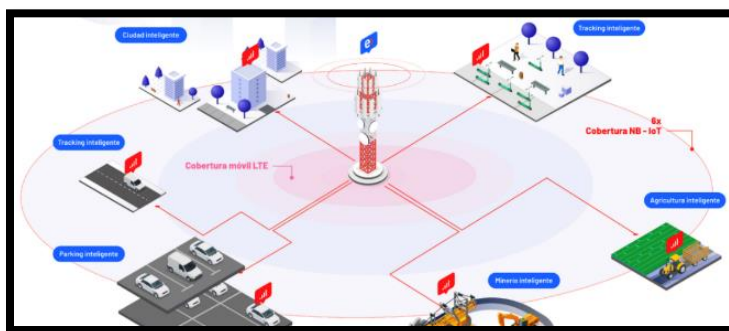


Figura 24. Tipos de Conectividad [65]

2.9.2.3 Factores que afectan la Conectividad

- **Tecnología utilizada:** Es indispensable que tanto para los dispositivos IoT, los routers y coordinadores cuenten con una tecnología de plataformas más avanzada. Pero se verá en problemas cuando alguno de ellos presenta un software con un nivel de desarrollo menos reciente.
- **Distancia:** Los dispositivos y routers tienen un nivel de cobertura que varía según el modelo y marca. Es por ello que cuando más cerca se encuentre el dispositivo Iot del punto de acceso, mejor será la conectividad.

2.10 Plataformas del Internet de las Cosas

2.10.1 Definición

Una plataforma del internet de las cosas es la base que permite que una gran cantidad de dispositivos puedan permanecer interconectados, los cuales estos podrán ejecutar funciones de manera simultánea, intercambiando y originando un volumen alto de datos que sean de mucho valor para las empresas [66].

Las plataformas del internet de las cosas facilitan la creación y lanzamiento de proyectos, estas nos proporcionan un único servicio que administra la implementación, los dispositivos y los datos. Así como también estas administran los protocolos de hardware y software, ofreciendo seguridad, autenticación y proporcionan interfaces de usuario [32].

La mayoría de las plataformas del internet de las cosas ofrecen puerta de enlace en la nube, infraestructura en la nube, integración con aplicaciones de terceros y administrador de dispositivos.



Figura 25. Plataformas del Internet de las Cosas [67]

Las plataformas del internet de las cosas nos permiten [68]:

- Conectar hardware como sensores y dispositivos.
- Manejar diferentes protocolos de comunicación entre hardware y software.
- Proporcionar seguridad y autenticación para dispositivos y usuarios.
- Recopilar, visualizar y analizar los datos que los sensores y dispositivos recopilan.
- Integrar todo lo anterior con otros servicios.

2.10.2 Propiedades de una Plataforma (Internet de las Cosas)

Una verdadera plataforma se compone de ocho importantes bloques los cuales se describirán a continuación [69]:

- **Conectividad y Normalización:** Interfaz de software que garantiza con precisión la transmisión de datos y la interacción con todos los dispositivos.

- **Gestión de dispositivos:** Es el encargado de asegurar que todas las cosas conectadas estén funcionando correctamente.
- **Base de datos:** Es el almacenamiento escalable de datos del dispositivo basados en la nube a un nuevo nivel en cuestión de volumen de datos, variedad, velocidad y veracidad.
- **Procesamiento y gestión de la acción:** Este bloque se encarga de aportar datos basados en reglas de acción de evento – disparadores que permitan la ejecución de acciones inteligentes basados en datos específicos del sensor.
- **Analítica:** Lleva a cabo una serie de análisis complejo de la agrupación de datos básicos y de aprendizaje automático.
- **Visualización:** Permite al ser humano observar las tendencias de cuadros de mando de visualización de datos, donde se retrata vívidamente a través de gráficos.
- **Herramientas adicionales:** La IoT permite a los desarrolladores de prototipos, probar y comercializar para que estos puedan visualizar, gestionar y controlar los dispositivos conectados.
- **Interfaces externas:** Son las que se integran con los sistemas de la tercera parte y el resto del ancho de TI en los ecosistemas mediante una función de interfaces de programación de aplicaciones (API), kits de desarrollo de software (SDK) y puertas de enlace.

2.10.3 Plataformas de Código Abierto

Las plataformas y herramientas del internet de las cosas son consideradas como el componente más importante del ecosistema, pues permite que cualquier dispositivo pueda conectarse a otros dispositivos y aplicaciones para transmitir información utilizando protocolos estándar de internet [70].



Figura 26. Plataformas IoT de código abierto [70]

2.10.3.1 Open Remote

Es la única plataforma de gestión de dispositivos del internet de las cosas 100% de código abierto para una amplia gama de aplicaciones y probada profesionalmente por grandes fabricantes e integradores de sistemas. Algunas de sus características son:

- Tiene agentes de protocolo como HTTP REST o MQTT para conectar dispositivos IoT, puertas de enlace, servicios de datos o crea una API específica del proveedor que falta.
- Es un editor de flujo para procesamiento de datos y una interfaz de usuario Groovy para reglas basadas en eventos.
- Creador de paneles Insight para realizar aplicaciones independientes para monitoreo y control sin codificación.
- Modelo de alarma y tarea con opciones de flujo de trabajo como creación de notificaciones en sistemas de mantenimiento.



Figura 27. Open Remote [71]

2.10.3.2 Node – RED

Node-RED es una herramienta de visualización sencilla y de código abierto para la conexión de dispositivos para el Internet de las Cosas. La herramienta fue desarrollada por el departamento Emerging Technology de IBM que permite conectar, un hardware, una API o un servicio online.

Esta plataforma proporciona una interfaz de usuario amigable para que los desarrolladores conecten dispositivos de una forma más sencilla y rápida. Así como también permite desplegar nuevos nodos para conectar más dispositivos sin ningún problema [72].

2.10.3.3 Flutter

Es un núcleo de procesador programable para proyectos de electrónica, es diseñado para estudiantes e ingenieros.

Esta laca es basada en Arduino que incluye un transmisor inalámbrico que puede mostrar hasta más de media milla. Pueden interactuar entre si de una forma más rápida.

Algunas de sus características de Flutter son: rendimiento rápido y nativo, UI expresiva y flexible, acabado visual y funcionalidad de widgets existentes.

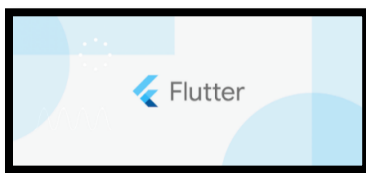


Figura 28. Flutter [70]

2.10.3.4 Arduino Cloud

Arduino es una plataforma de desarrollo basada en una placa electrónica de hardware libre que incorpora un microcontrolador reprogramable y una serie de pines hembra. Es una plataforma fácil de usar, opera a través de una variedad de especificaciones de hardware que se pueda dar a la electrónica interactiva [73].

Arduino Cloud es aquella plataforma que nos ofrece hardware, firmware, servicios en la nube y conocimiento. Esta plataforma podrá ser programada con bocetos elaborados de una forma más sencilla y rápida por el sistema, generando esquemas automáticos cuando se configure algo nuevo, lo que le ayudará al desarrollador a pasar de desempaquetar un tablero de control a un dispositivo dentro de cinco minutos [74].



Figura 29. Arduino IoT Cloud [75]

2.10.3.5 Things Board (Cosas Tablero)

Things Board se utiliza para la recopilación, procesamiento, visualización y gestión de dispositivos de datos.

Mantiene los protocolos del internet de las cosas estándar como CoAP y HTTP tan rápido como las implementaciones locales y en la nube.

Crea flujos de trabajo basados en eventos del ciclo de vida del diseño, eventos de API REST y solicitudes RPC.

Algunas funciones que tiene la plataforma Things Board son las siguientes:

- Plataforma que combina escalabilidad, producción y tolerancia a fallas.
- Transforma y normaliza las entradas del dispositivo y facilita alarmas para generar alertas.
- Habilita funciones específicas del estado de uso utilizando grupos de reglas personalizables.
- Puede manejar millones de dispositivos al mismo tiempo.

2.10.3.6 Kinoma Create

Kinoma Create es un aparato que permite la conexión entre dispositivos sin tener conocimientos de programación en JavaScript demasiado elevados. Este aparato dispone de todo lo necesario para empezar a desarrollar pequeños proyectos de IoT [72].

Sus componentes fundamentales son:

- Pantalla táctil.
- Procesador ARM SoC 800 MHz.
- Conexión inalámbrica por Bluetooth y Wifi.
- Puertos para conectar periféricos, entre ellos un puerto USB 2.0.
- Memoria RAM de 128 MB y una memoria flash de 16 MB.
- Abertura para una tarjeta microSD.
- Altavoz y micrófono.
- Distribución Linux



Figura 30. Plataforma Kinoma [70]

2.10.4 Plataformas Comerciales

2.10.4.1 Davra

Davra es una plataforma de internet de las cosas que tiene como objetivo ayudar a las empresas (transporte, fabricación, construcción, atención médica) a diseñar e implementar aplicaciones digitales en un entorno totalmente alojado en la nube o de forma local.

Entre sus características incluyen widgets integrados, control del acceso, almacenamiento seguro de datos, reglas configurables y creación de informes [76].

2.10.4.2 Google Cloud

Es una plataforma modular que proporciona múltiples servicios de creación y escala a empresas de cualquier tamaño y sector. Ofrece herramientas de almacenamiento de documentos y datos, cumplimiento de claves de seguridad, creación de aplicaciones, gestión de API, inteligencia artificial, aprendizaje automático, etc.

Google Cloud permite predecir automáticamente en qué momento los equipos necesitarán mantenimiento, optimizar su rendimiento en tiempo real, prever los tiempos de inactividad, detectar anomalías y hacer un seguimiento de las condiciones, el estado y la ubicación de los dispositivos [77].



Figura 31. Plataforma Google Cloud [78]

2.10.4.3 PULSAR

PULSAR es una plataforma digital con base en sensores que apoya a las empresas a recolectar, analizar y presentar datos operativos en tiempo real de sus maquinarias y plantas industriales.

Haciendo uso de tecnologías IoT, IA, y algoritmos de Machine Learning, PULSAR presenta una vista 360° de las operaciones e indicadores clave de una empresa.

2.10.4.4 ThingSPEAK

ThingSpeak es una plataforma de analíticas del internet de las cosas basada en la nube. Está diseñada para ayudar a las organizaciones de distintos sectores verticales a recopilar, visualizar y evaluar datos en tiempo real. La plataforma permite a las empresas crear, editar o eliminar canales privados y definir campos personalizados con vistas públicas o privadas a fin de recopilar y analizar datos de múltiples fuentes.

Esta plataforma incluye Time Control que es un módulo de programación de eventos que permite a las organizaciones programar diversas tareas recurrentes de forma semanal, diaria o por hora.

Los usuarios pueden utilizar las herramientas de analíticas de ThingSpeak para explorar patrones, relaciones y tendencias entre diversos elementos de datos y mostrar la información a través de gráficos, indicadores y tablas.

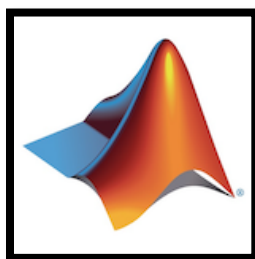


Figura 32. Plataforma ThingSPEAK [76]

2.10.4.5 Knowi

Knowi es una plataforma de analíticas aumentada que está diseñada para ayudar a las empresas a analizar datos y administrar múltiples bases de datos a través de una combinación de aprendizaje automático y procesamiento de lenguaje natural.

Sus principales funciones incluyen combinación de datos, análisis predictivo, marca blanca, autenticación de dos factores y creación de informes.

Knowi viene con un generador de consultas de arrastrar y soltar que permite a los ingenieros seleccionar los filtros, las métricas y las dimensiones para la creación de cada consulta nueva. Es decir, los desarrolladores pueden procesar datos de múltiples fuentes, preparar datos de capacitación y utilizar el conjunto integrado de algoritmos para evaluar casos de uso en una plataforma unificada.



Figura 33. Knowi [79]

2.11 Arduino Cloud

El Arduino Cloud es una herramienta que permite a los usuarios controlar y monitorear de forma remota sus dispositivos de IoT. Es decir, con esta herramienta los usuarios pueden conectar con más facilidad sus placas de Arduino con la nube permitiéndoles controlarlos y monitorearlos desde cualquier lugar y en cualquier momento [80].

Arduino Cloud proporciona una amplia gama de herramientas y recursos que facilitan el monitoreo y la administración de sus dispositivos, garantizando que siempre funcionen a niveles óptimos gracias a su interfaz y sus potentes funciones.

2.11.1 Componentes de Arduino IoT Cloud

Según lo que el usuario quiere lograr es una aplicación de IoT que requiere de los siguientes componentes [81]:

- Dispositivos para recopilar y controlar datos.
- Software que es aquel que nos ayudara a definir el comportamiento del hardware.
- Aplicación en la nube para almacenar datos y controlar de forma remota el equipo.

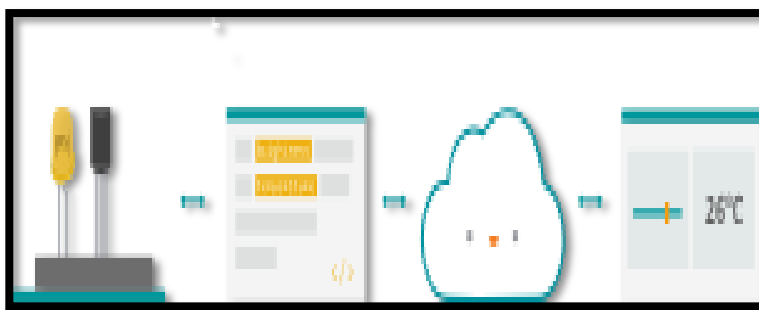


Figura 34. Componentes de Arduino Cloud [81]

2.11.2 Beneficios de Arduino Cloud

- **Acceso remoto:** Es la capacidad de acceder de forma remota a sus dispositivos y proyectos, es decir, los dispositivos se pueden controlar y monitorear desde cualquier parte del mundo siempre y cuando tenga conexión a internet [80].
- **Almacenamiento de Datos:** Es aquel que proporciona una solución de almacenamiento de datos segura y confiable para los proyectos., de forma que se almacenan en la nube y poder acceder a ella desde cualquier parte.
- **Colaboración:** Facilita la colaboración con otros desarrolladores e ingenieros en sus proyectos, es decir, pueden compartir sus proyectos con otros usuarios y trabajar juntos para desarrollar y mejorar dichos proyectos.

2.11.3 Propiedades de Arduino Cloud

Las propiedades son aquellas cualidades que definen las características de un sistema.

Una propiedad puede ser una configuración de ‘solo lectura’ (RO) para indicar que Arduino IoT Cloud puede leer los datos, pero no puede cambiar el valor de la propiedad.

Una propiedad puede diseñarse como ‘lectura y escritura’ (RW) si Arduino IoT Cloud también puede cambiar de forma remota el valor de la propiedad y enviar una notificación de evento al dispositivo.

2.11.4 Software para Arduino Cloud

Los tableros Arduino generalmente requieren ser programados para poder ingresar algún código a través de un Arduino Sketch. De esta forma generara rápida y automáticamente un Sketch al configurar algo nuevo [81].

Arduino IoT Cloud permite otros métodos de interacción, incluida la API REST HTTP, MQTT, Herramientas de línea de comandos, JavaScript y Websockets.

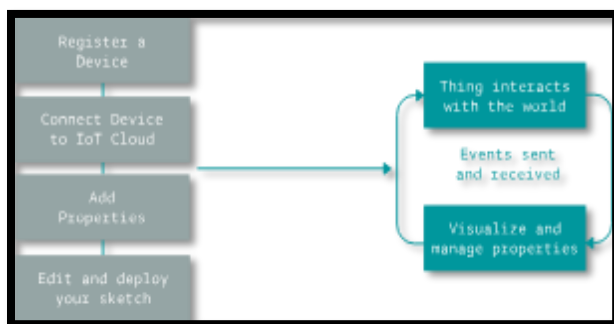


Figura 35. Software para Arduino Cloud [81]

2.11.5 Primeros pasos con la nube Arduino

2.11.5.1 Configurar una cuenta

Para poder trabajar con Arduino Cloud, se deberá crear una cuenta en el sitio web de Arduino Cloud siguiendo los siguientes pasos [48]:

1. Dirigirse al [sitio web de Arduino Cloud](https://cloud.arduino.cc/).
2. Hacer clic en el botón "Registrarse" en la esquina superior derecha de la página.
3. Completar los detalles requeridos, incluido su nombre, dirección de correo electrónico y contraseña.
4. Hacer clic en el botón "Crear cuenta".

Una vez creada la cuenta, se podrá iniciar sesión en el sitio web de Arduino Cloud utilizando su dirección de correo electrónico y contraseña.

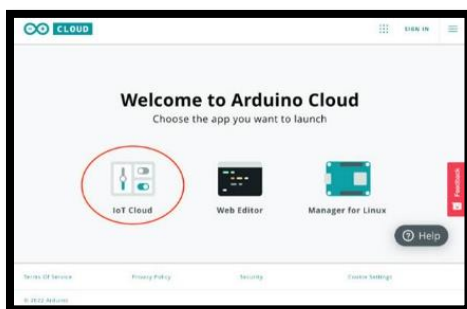


Figura 36. Cuenta de Arduino Cloud [82]

2.11.5.2 Conectando dispositivos

Para conectar los dispositivos a Arduino Cloud, deberá seguir los siguientes pasos:

1. Conectar el dispositivo a una computadora usando un cable USB.
2. Abra el IDE de Arduino y seleccione la placa y el puerto en el menú Herramientas.

3. Haga clic en el botón "Arduino Cloud" en la barra de herramientas en la parte superior del IDE.
4. Siga las instrucciones en pantalla para conectar su dispositivo a Arduino Cloud.

2.11.5.3 Creando proyectos

Para crear un nuevo proyecto en Arduino Cloud, siga los siguientes pasos:

1. Iniciar sesión en el sitio web de Arduino Cloud.
2. Hacer clic en el botón "Proyectos" en la barra de navegación superior.
3. Luego hacer clic en el botón "Crear proyecto".
4. Definir un nombre a tu proyecto y selecciona el tablero que deseas utilizar.
5. Hacer clic en el botón "Crear".
6. Una vez que haya creado su proyecto, puede comenzar a agregar código y configurar su dispositivo.

2.11.6 Solución de problemas de la nube Arduino

- **Problemas de conexión:** Si existen problemas de conexión con Arduino Cloud, lo primero que se deberá comprobar es la conexión a Internet. Asegúrese de estar conectado a una red estable y confiable.
- **Problemas de cuenta:** Si se tiene problemas para acceder a su cuenta de Arduino Cloud, asegúrese de estar utilizando las credenciales correctas; si olvidó su contraseña, puede restablecerla haciendo clic en el enlace "Olvidé mi contraseña" en la página de inicio de sesión.
- **Errores del proyecto:** Si se experimenta errores con los proyectos de Arduino Cloud, asegúrese de que su código sea correcto y esté cargado correctamente en la nube, así como también compruebe si hay errores de sintaxis o bibliotecas faltantes.

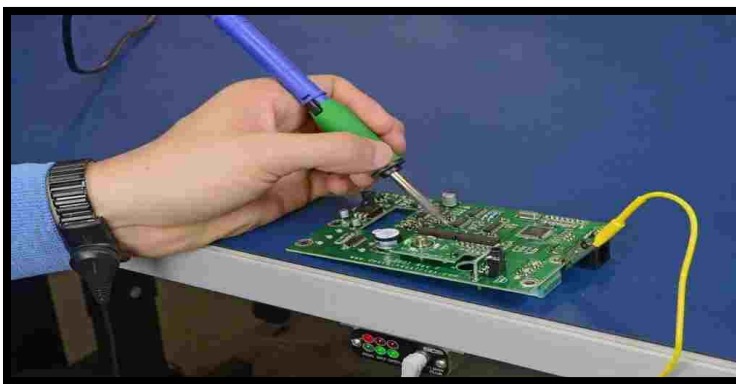


Figura 37. Solución de problemas [80]

2.12 ESP 32

2.12.1 Definición de ESP 32

ESP32 es la denominación de una familia de chips SoC, fue creado y desarrollado por Espressif Systems, es una serie de microcontroladores de bajo coste y consumo de energía, con tecnología Wi-Fi y Bluetooth de modo dual integrada que permite al usuario estar conectados a internet todo el tiempo [83].

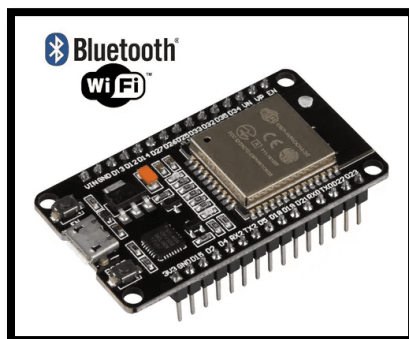


Figura 38. ESP 32 [83]

2.12.2 Características técnicas

2.12.2.1 CPU y Memoria

- Microprocesador Xtensa dual – core – 32 – bit LX6 hasta 240 MHz.
- Memoria ROM 448 KB.
- Memoria SRAM 520 KB.
- Memoria SRAM en RCT 16kb.

2.12.2.2 WI – FI

- 802.11 b/g/n.
- Bit rate: 802.11n superior a 150 Mbps.
- Agregación de frames A - MPDU y A – MSDU.
- Rango de frecuencia central del canal de operación: 2412 – 2484 MHz.

2.12.2.3 BLUETOOTH

- Bluetooth V4.2 BR/EDR y Bluetooth LE.
- Transmisor Clase – 1, Clase – 2 y Clase – 3.

- AFH.
- CVSD y SBC.

2.12.2.4 Periféricos en el ESP32

- SD card (Posibilidad de conexión con tarjeta SD externa).
- UART Receptor/transmisor asíncrono universal, el chip ESP32 tiene tres controladores UART (UART0, UART1 y UART2).
- SPI Serial Peripheral Interface ESP32 integra cuatro periféricos SPI.
- SDIO Controlador esclavo de tarjeta SDIO.
- I2C es un protocolo de comunicación semidúplex, síncrono y serial que permite la coexistencia de múltiples maestros y esclavos en el mismo bus.
- LED PWM sirve para controlar la intensidad de los Leds, tiene 16 canales que pueden generar formas de onda independientes que se pueden usar.
- Motor PWM (tiene dos unidades MCPWM que se pueden usar para controlar diferentes tipos de motores. Cada unidad tiene tres pares de salidas PWM).
- I2S (Inter-IC Sound) es un protocolo de comunicación síncrono en serie que generalmente se usa para transmitir datos de audio entre dos dispositivos de audio digital [84].
- IR es el controlador del módulo RMT (control remoto) se puede utilizar para enviar y recibir señales de control remoto por infrarrojos.
- Contador de pulsos (contador de flancos ascendentes o descendentes de una señal de entrada).
- GPIO (Puertos de entrada salida de propósito General).
- Sensor táctil capacitivo.
- Sensor de efecto Hall.
- ADC (Convertidor digital analógico).
- DAC (Convertidor analógico digital).
- TWAI (interfaz automotriz de dos cables).
- RTC (Reloj en tiempo real).

2.12.2.5 Componentes integrados en el modulo

- Oscilador de cristal de 40 MHz.
- 4 MB SPI flash.

- Antena PCB integrada.
- Sensor Hall.

2.12.2.6 Voltajes de operación del ESP32

Esta placa de desarrollo se puede alimentar a 3.3 V (3.0 – 3.6 V) o 5 V, pero los pines GPIO trabajan 3.3 V, si se desea usarla con sistemas de 5 V se deberá utilizar convertidores de nivel 3.3 – 5 V

2.12.2.7 Temperaturas de operación del ESP32

- La temperatura deberá estar entre – 40°C y 85°C

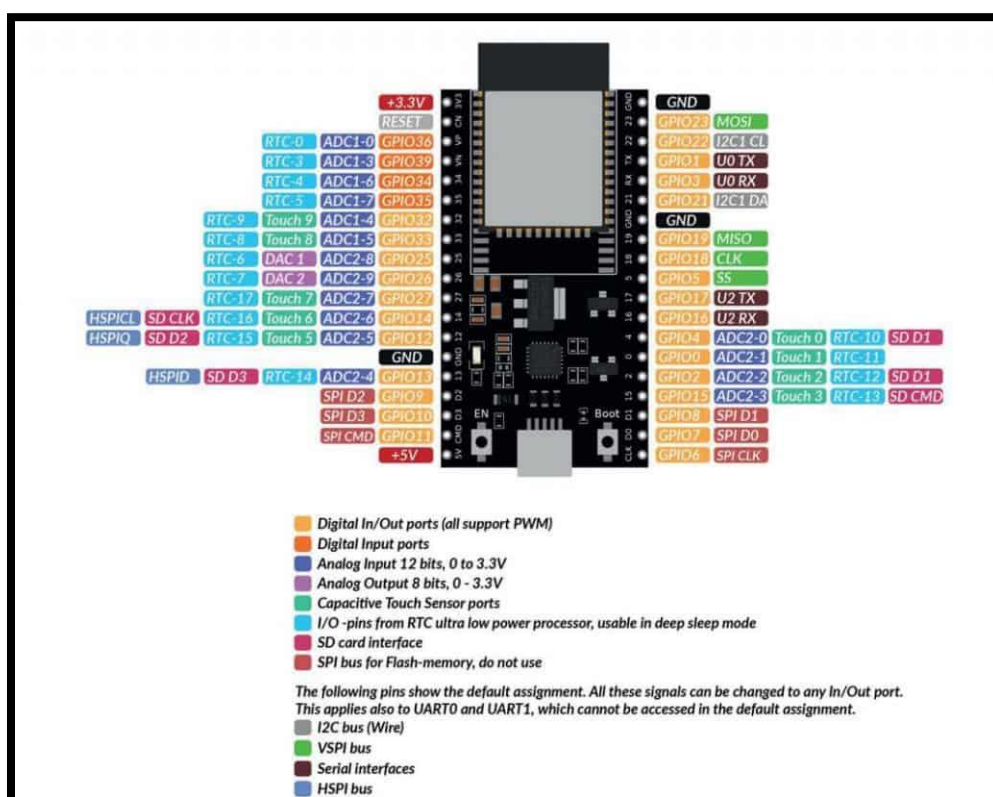


Figura 39. Características técnicas del ESP32 [85]

2.12.3 Entornos y lenguajes de programación

2.12.3.1 Arduino IDE para ESP 32

Arduino IDE es un entorno de desarrollo en el cual se realiza la programación de cada una de las placas de Arduino. Es el IDE más usado por los programadores de tarjetas Arduino y demás, para desarrollo de programas de Internet de las Cosas, como de Automatización, entre otras cosas [86].



Figura 40. Arduino IDE para ESP32 [87]

El IDE Arduino tiene una interface simple y fácil de usar, con elementos suficientes para escribir, depurar las instrucciones, seleccionar las placas a usar y observar los resultados en el computador.

El proceso de instalación es simple, solo requiere ejecutar el archivo descargado de instalación.



Figura 41. Programa IDE para ESP 32 [88]

2.12.3.2 Thonny IDE para ESP 32

Micropython es una implementación simplificada de Python 3 para trabajar con microcontroladores con entornos limitados. En el año 2021, las placas ESP8266 y ESP 32 permitieron configurarse para responder a instrucciones en Micropython [88].

El IDE usado en Micropython es Thonny IDE, que viene instalado de forma predeterminada en Raspberry Pi OS, y puede ser incorporado al IDE básico de Python 3, o WinPython.

La función principal de Thonny IDE es que trae incorporado en el menú la selección de la placa de desarrollo conectada al puerto USB de la computadora. Soporta las placas Raspberry Pi Pico, ESP32 y ESP8266 entre otros.

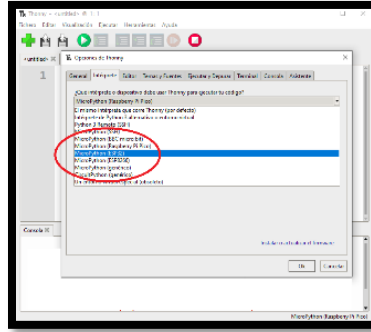


Figura 42. Thonny IDE [88]

2.12.4 Aplicaciones del ESP32

ESP32 se utiliza en diferentes aplicaciones de las cuales se mencionan en los siguientes puntos [85].

- Concentrador de sensores IoT genérico de baja potencia.
- Registradores de datos IoT genéricos de bajo consumo.
- Cámaras para transmisión de video.
- Reconocimiento de voz.
- Reconocimiento de imágenes.
- Red de malla.
- Domótica.
- Automatización industrial.
- Agricultura inteligente.
- Aplicaciones de audio.
- Aplicaciones de tencion medica.
- Juguetes habilitados para Wi-Fi.
- Electrónica portátil.



Figura 43. Aplicaciones del ESP 32 [89]

2.13 Control PID

2.13.1 Definición

El controlador PID (Proportional – Integral – Derivative) es aquel dispositivo que permite controlar un sistema en lazo cerrado para que alcance el estado de salida deseado. Es decir, es un tipo de controlador que es utilizado en sistemas de control automático para mantener una variable de proceso (temperatura, velocidad o presión) en un valor deseado [90].

Estos controladores utilizan un algoritmo que es el encargado de calcular continuamente la diferencia entre el valor deseado y el valor actual de la variable de proceso (Error) y ajusta la salida del controlador en consecuencia para minimizar dicho error.

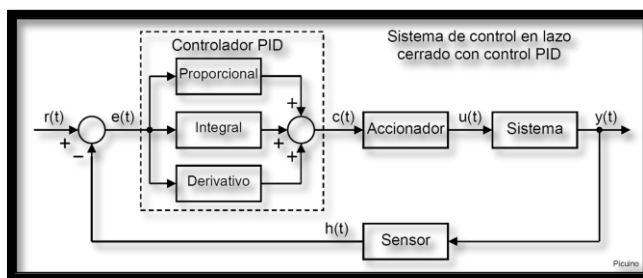


Figura 44. Control PID [91]

2.13.2 Funcionamiento de un control PID

El control PID es un mecanismo de control que, a través de un lazo de retroalimentación, permite regular la velocidad, temperatura, presión y flujo entre otras variables de un proceso en general. Así como también calcula la diferencia entre la variable real contra la variable deseada [92].

Un ejemplo de controlador PID son en los sistemas de bombeo, que regularmente mantienen la presión o flujo constante, por lo tanto, el control PID se encarga de medir la diferencia entre la presión en la tubería y la presión requerida y actúa variando la velocidad del motor para que se pueda tener nuestra presión o flujo constante.

2.13.3 Parámetros fundamentales



Figura 45. Parámetros fundamentales del PID [92]

2.13.3.1 Ganancia Proporcional (P)

La ganancia proporcional es la encargada de medir la diferencia entre el valor actual y del set-point (en porcentaje) y aplica el cambio.

Para aplicaciones centrífugas se aconseja un valor del 10% y para aplicaciones sumergibles se recomienda un valor del 50%.

Esto permite reducir el error porque disminuye la diferencia entre el estado deseado y el estado conseguido [93].

2.13.3.2 Integral (I)

La acción integral es el periodo de tiempo que se toma para llevar a cabo una acción correctiva. En función del tiempo existen diferentes valores.

- Mientras el valor sea más pequeño el ajuste del valor (set - point) es más rápido, pero se debe tener precaución, ya que reducir demasiado el valor puede causar inestabilidad en el sistema [92].
- Si los valores son más altos estos proveen una respuesta más lenta, lo que puede provocar un rebasamiento del punto de ajuste y oscilación de la frecuencia de salida.

Si el error es mayor que el deseado se aumenta la constante integral K_i para minimizar el error y conseguir la velocidad adecuada [93].

2.13.3.3 Derivativo (D)

Este parámetro es predictivo pues realiza una previsión del error para tomar la acción más oportuna. De esta forma se pueden tomar las medidas adecuadas antes de que sea demasiado tarde porque corrige el error al cambiar la velocidad. Es decir, es necesario ajustar el control PID hasta conseguir la respuesta deseada [93].

2.13.4 Ecuación del controlador PID

$$c(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \cdot \int e(t)dt + K_d \cdot \frac{\partial e(t)}{\partial t}$$

Figura 46. Ecuación del Controlador [91]

Donde:

- $c(t)$ = señal de control
- $e(t)$ = señal de error
- K_p, K_i, K_d = parámetros del controlador PID

2.13.5 Ventajas y desventajas de un controlador PID

2.13.5.1 Ventajas del controlador PID

Las ventajas de este control son [94]:

- No añade inestabilidad al sistema.
- Responde a las perturbaciones antes de que se modifique la salida del sistema.
- Ayuda hacer más estables sistemas no lineales.

2.13.5.2 Desventajas del controlador PID

Las desventajas de este control son [94]:

- No responde a las perturbaciones que no se pueden medir.
- El efecto de las perturbaciones en el sistema debe ser conocido.
- Puede presentar error porque no se mide ni se compensa la salida real del sistema.

2.13.6 Sistemas de control

Un sistema de control es aquel grupo de elementos interrelacionados y diseñados para lograr una meta específica, es decir, efectúa acciones en dispositivos con la finalidad de regular o dirigir el comportamiento de un sistema en un ambiente definido [95].

Así mismo, dicho sistema puede ser controlado de forma manual o automáticamente, sin embargo, un sistema de control tiene que seguir una lógica de al menos 3 elementos base:

- Una variable que se busca controlar (un producto que se coloca en los contenedores industriales).
- Un actuador (cuando se ejecuta la acción de una máquina como bomba mecánica o eléctrica).
- Un punto de referencia o set-point, que es cuando se determina el límite.



Figura 47. Sistemas de Control [96]

2.13.6.1 Sistema de control de lazo abierto

Un sistema de control de lazo abierto es aquel que se caracteriza por carecer de información sobre la variable a controlar, de manera que la salida no depende de la entrada. Es decir, no recibe información acerca del valor que tiene la variable del producto o proceso que se desea controlar [95].

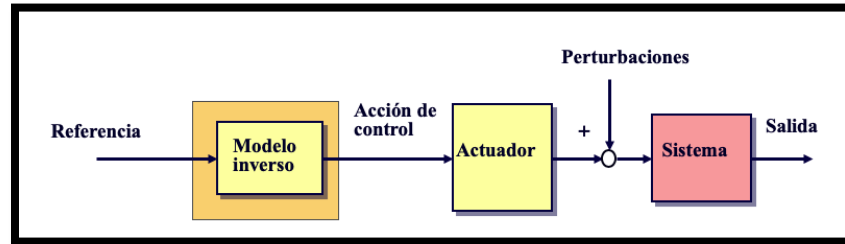


Figura 48. Sistema de Control de lazo abierto [97]

Los sistemas de control de lazo abierto se caracterizan por:

- Ser sencillos y de fácil mantenimiento.
- Estar afectados por perturbaciones.
- Dependen altamente de la calibración del sistema.

Un ejemplo de un sistema de control de lazo abierto puede ser una lavadora automática, ya que ésta realiza los ciclos de lavado en función a una base de tiempo, sin medir el grado de limpieza de la ropa, que sería la salida a considerar [97].

2.13.6.2 Sistema de control en lazo cerrado

El sistema de control de lazo cerrado se caracteriza por recibir información en sus entradas sobre el valor de la variable que controlan. Es decir, estos sistemas están realimentados [97].

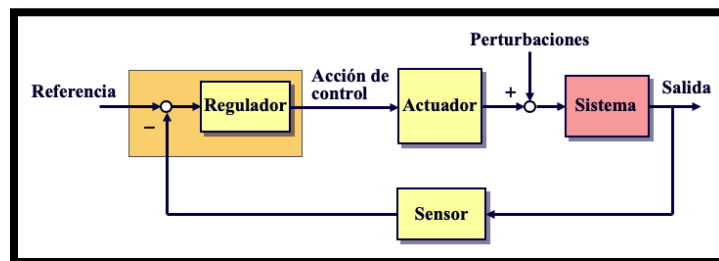


Figura 49. Sistema de Control de lazo cerrado [97]

Los sistemas de control de lazo cerrado se caracterizan por:

- Ser complejos y amplios en cantidad de parámetros.
- Son más estables frente a perturbaciones y variaciones internas.

Un sistema de control de lazo cerrado lo podemos encontrar en aparatos automáticos, como por ejemplo en dispositivos de aire acondicionado, en donde la variable es la temperatura ambiental y los sensores responden si debe o no entrar el compresor para enfriar el lugar [95].

Los sistemas que realizan este tipo de control automático hacen que un producto o proceso tome decisiones sin necesidad de la intervención de un ser humano y por ello suelen recibir el nombre de sistemas de regulación automática.

2.13.7 Sintonización PID por Ziegler – Nichols

El método de Ziegler-Nichols es aquel método que permite sintonizar un controlador PID sin necesidad de conocer las ecuaciones de la planta o del sistema controlado.

Este método define las constantes o ganancias proporcional, integral y derivativa a partir de la respuesta del sistema en lazo abierto o a partir de la respuesta del sistema en lazo cerrado.

Este método fue propuesto y publicado por Ziegler y Nichols en el año de 1942 y desde entonces es uno de los métodos de sintonización más utilizados [98].

2.13.7.1 Ziegler – Nichols a lazo abierto

Este método se obtiene de la respuesta de la planta a una entrada escalón unitario y si la respuesta no tiene oscilaciones y además posee un retardo tal que se forma una “ese” puede obtenerse los parámetros del controlador PID utilizando este método y la planta se puede aproximar a una transferencia de la siguiente manera [99]:

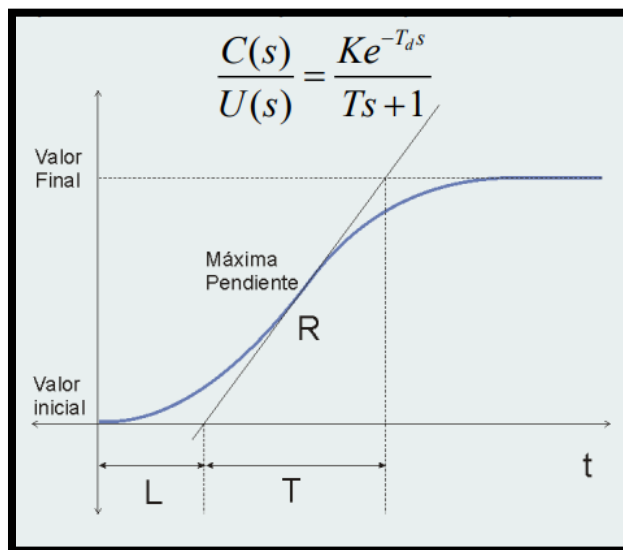


Figura 50. Ziegler - Nichols a lazo abierto [99]

En donde con las letras L y R se obtienen los parámetros del controlador PID utilizando la imagen:

TIPO DE CONTROLADOR	Kp	Ti	Td
P	$\frac{1}{R \cdot L}$		
PI	$\frac{0,9}{R \cdot L}$	$3L$	
PID	$\frac{1,2}{R \cdot L}$	$2L$	$0,5L$

Figura 51. Valores de sintonización a lazo abierto [99]

2.13.7.2 Ziegler – Nichols a lazo cerrado

Este método se utiliza para aquellos sistemas que pueden tener oscilaciones sostenidas. Es decir, primero se eliminan los efectos de la parte integral y derivativa. Para después utilizando solo la ganancia Kp, se busca que el sistema tenga oscilaciones sostenidas [99].

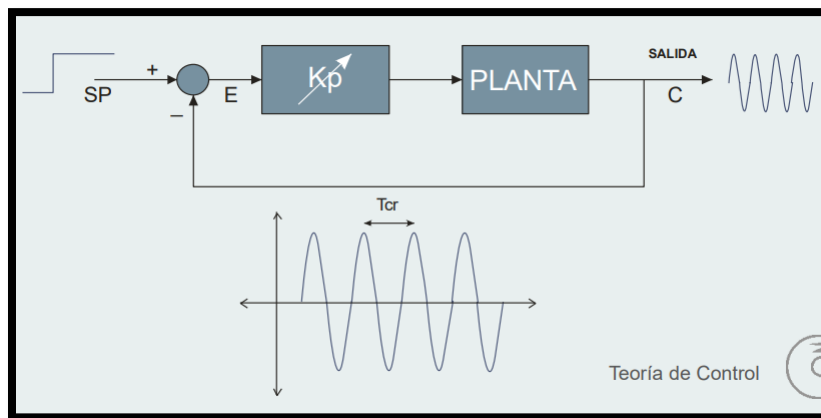


Figura 52. Ziegler - Nichols a lazo cerrado [99]

Con las variables Kcr y Tcr se obtienen los parámetros del controlador PID utilizando la siguiente imagen:

TIPO DE CONTROLADOR	Kp	Ti	Td
P	$0,5K_{cr}$		
PI	$0,45K_{cr}$	$\frac{T_{cr}}{1,2}$	
PID	$0,6K_{cr}$	$\frac{T_{cr}}{2}$	$\frac{T_{cr}}{8}$

Figura 53. Valores de sintonización a lazo cerrado [99]

Capítulo III. Desarrollo

3.1 Creación de cuenta en la plataforma Arduino cloud

Para poder crear un proyecto de IoT desde la plataforma de Arduino Cloud el primer paso es ingresar a su página web desde el siguiente enlace <https://cloud.arduino.cc/>, al momento de acceder se desplegará su página principal como se muestra en la Figura 54.

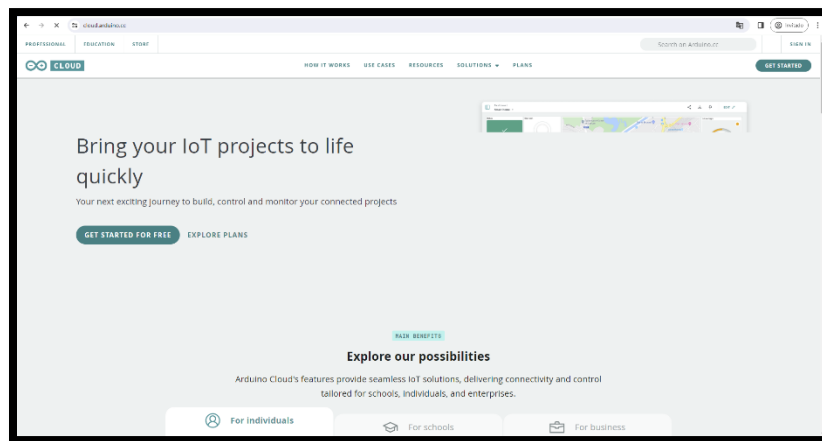


Figura 54. Página principal de Arduino Cloud

Para poder utilizar los recursos de la plataforma, el siguiente paso es crear una cuenta ubicando el icono “GET STARTER FOR FREE” el cual redirigirá a la página de inicio de sesión como se muestra en la Figura 55.

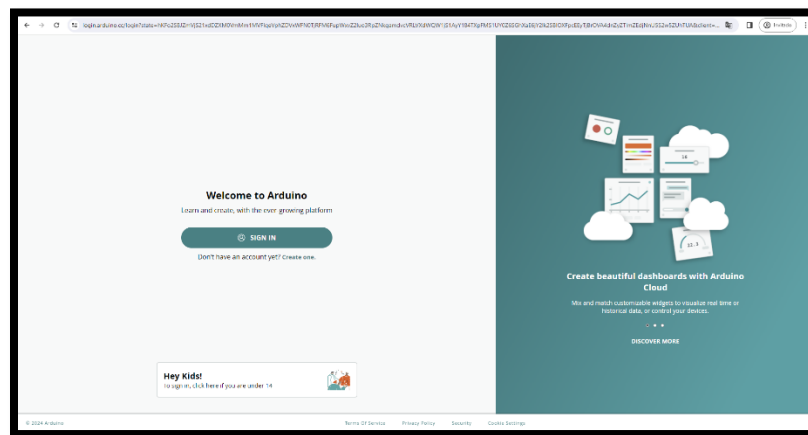


Figura 55. Página de inicio de sesión

Como aún no se tiene una cuenta en la plataforma de Arduino Cloud, se selecciona en el apartado de crear cuenta “Create one” que se encuentra en la parte inferior del icono “SIGN IN”, ya en la página de registro se ingresan los datos solicitados como fecha de nacimiento, correo electrónico, nombre de usuario, contraseña y aceptar la política de privacidad, la visualización de las páginas mencionadas se muestra en la Figura 56 y Figura 57 respectivamente.

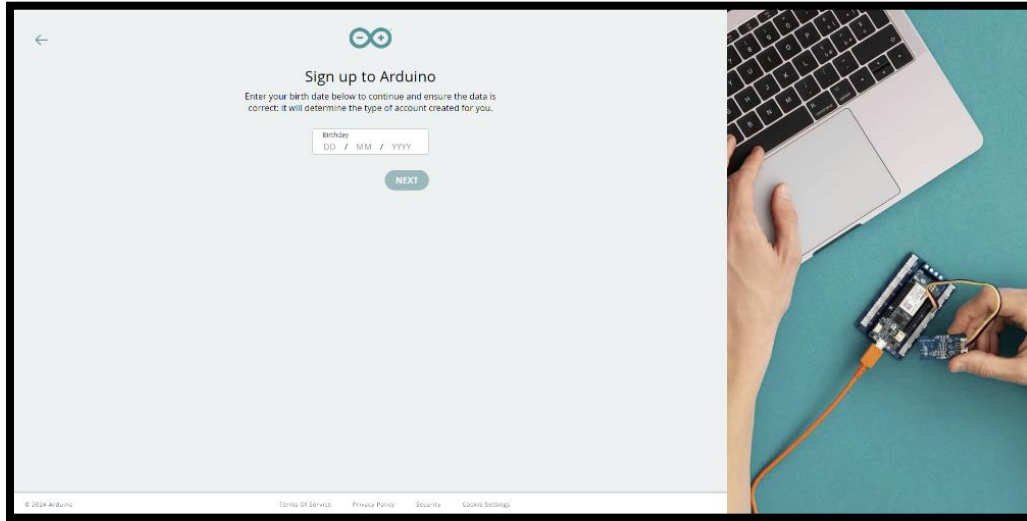


Figura 56. Registro de fecha de nacimiento

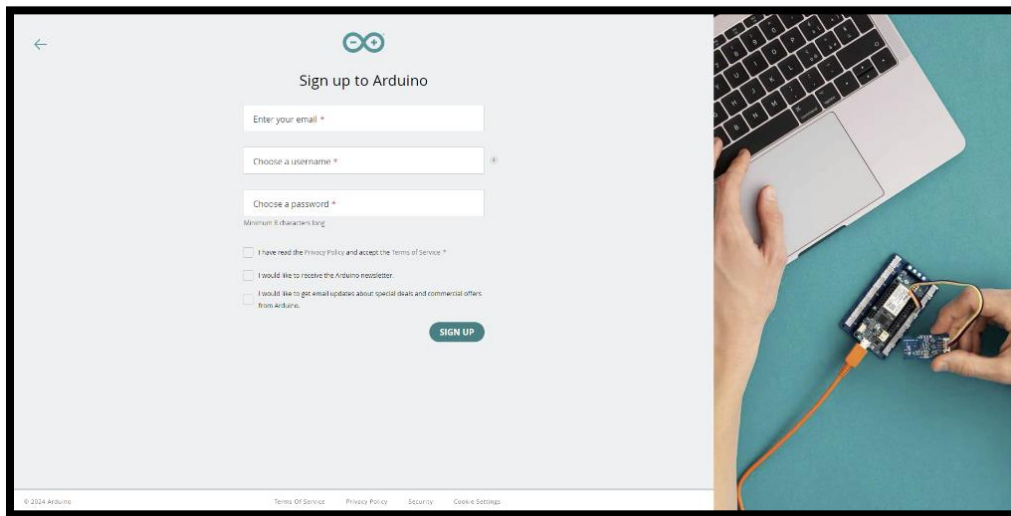


Figura 57. Registro de datos básicos

Una vez registrados los datos solicitados y aceptada la política de privacidad, para dar de alta la cuenta se procede a presionar el icono de “SIGN UP” el cual registra la cuenta con nuestros datos y posteriormente inicia sesión con la cuenta creada, la página de la cuenta se muestra en la Figura 58.

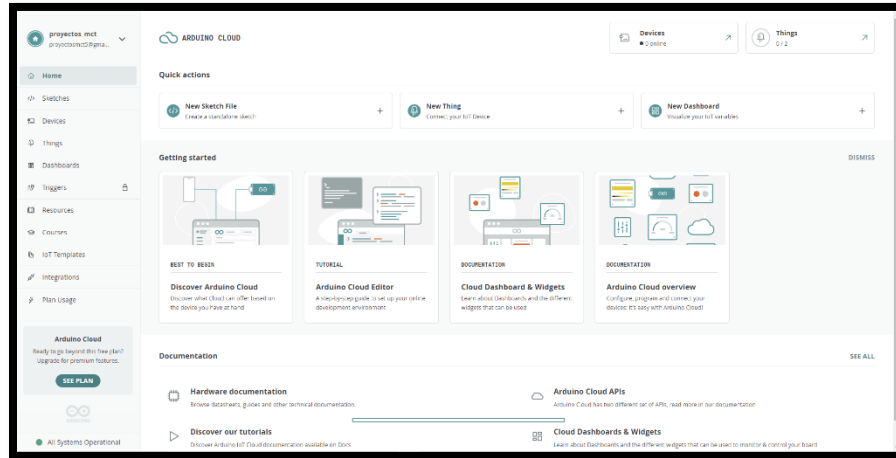


Figura 58. Página de Inicio de sesión iniciada

3.2 Conexión ESP 32 con plataforma Arduino Cloud

Para poder conectar el dispositivo de IoT a utilizar, que en este caso será la tarjeta Esp32 se selecciona la opción “New Thing”, en esta opción se debe registrar el dispositivo a utilizar, el nombre con el cual se va a identificar el dispositivo, la red wifi a la cual estará conectado el dispositivo y hacer la declaración de variables que se ocuparan para hacer lectura y/o escritura de los componentes externos a controlar a través del dispositivo, por ejemplo: led’s, motores, sensores digitales, sensores analógicos, etc.

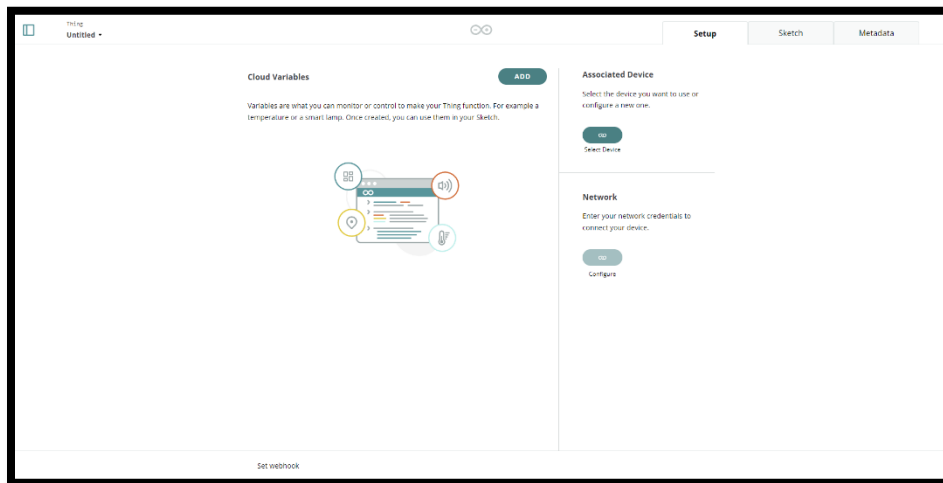


Figura 59. Página de registro de dispositivos

En la Figura 59 se muestra la página de registro de dispositivos en donde se observa en la parte superior izquierda el nombre “Untitled” este nombre se le asigna por default, pero se puede cambiar para tener un nombre que permita identificar al proyecto de una forma más conveniente de acuerdo con proceso para el cual se utilizará, para este proyecto se nombrará como “péndulo”.

En el apartado “Associated device” que aparece en el costado derecho de la página de la Figura 59 permite asociar la tarjeta ESP 32 al proyecto creado en la plataforma de Arduino Cloud, por lo tanto, se selecciona la opción del apartado antes mencionado y en la ventana emergente que aparece se selecciona la opción “SET UP NEW DEVICE” como se muestra en la Figura 60.

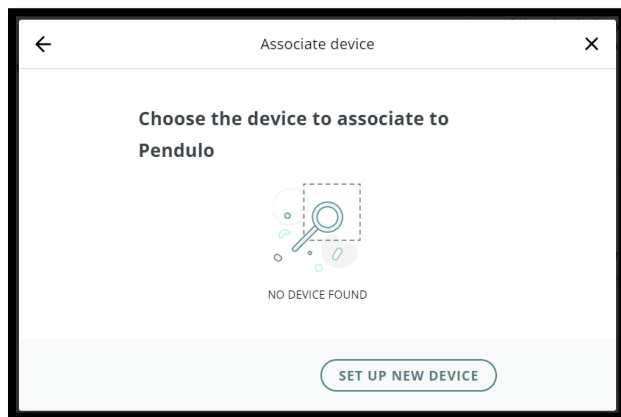


Figura 60. Configurar nuevo dispositivo

Ahora, se debe seleccionar el dispositivo a utilizar de acuerdo con una de las tres opciones mostradas en la Figura 61, las opciones son dispositivos propios de Arduino, dispositivos de terceros o realizar una configuración manual, en este apartado se recomienda la segunda opción ya que la propia plataforma nos genera el código con en el lenguaje Arduino C++ de forma automática que posteriormente se cargará en la tarjeta.

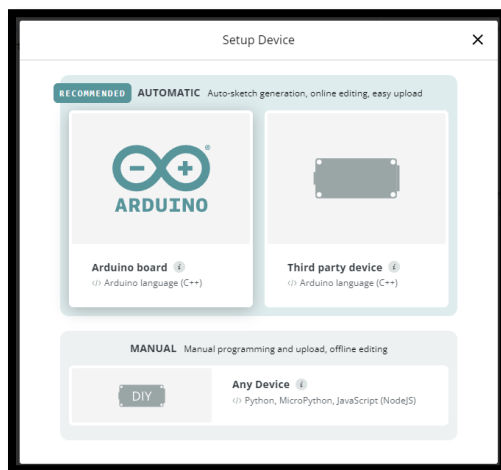


Figura 61. Opciones para la selección de dispositivos

Seleccionando la opción “Third party device” se despliega la ventana mostrada en la Figura 62, en donde, para este trabajo se selecciona la tarjeta “ESP32” con la que se cuenta, en este paso también es importante conocer perfectamente cual es el modelo de la tarjeta ESP32 que se tiene, ya que se necesita seleccionar en la lista desplegable, para este caso particular la opción adecuada es la “DOIT ESP32 DEVKIT V1”.

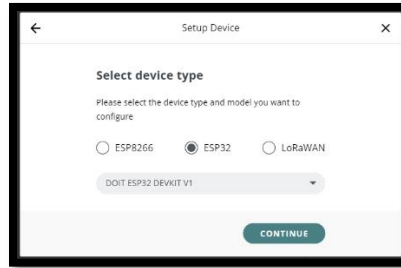


Figura 62. Dispositivos de terceros

Una vez que se da click en “CONTINUE”, solicitará que se le asigne un nombre al dispositivo con el cual se pueda identificar, en este caso se le pondrá “Esp32”.

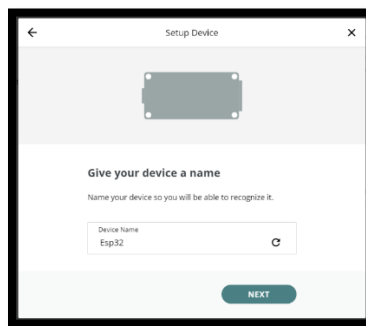


Figura 63. Nombre del dispositivo

Al presionar en el icono de siguiente, la plataforma le asignará un ID y una llave secreta al dispositivo con el cual se podrá conectar y acceder posteriormente, cabe mencionar que la llave secreta es única y hay que recordarla perfectamente ya que esta llave no puede ser recuperada.

El ID y la llave secreta son mostradas en la ventana de la Figura 64:

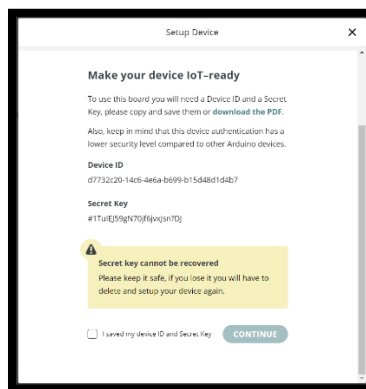


Figura 64. ID y Secret Key

Para poder habilitar el botón de “CONTINUE” es necesario confirmar que se ha guardado perfectamente el ID y la llave secreta, como recomendación, en la sección del texto hay una

opción para guardar esta información en formato PDF mediante “download the PDF” que aparece en color verde.

Finalizada la configuración aparecerá una ventana que es mostrada en la Figura 65 con el mensaje del dispositivo fue configurado exitosamente,

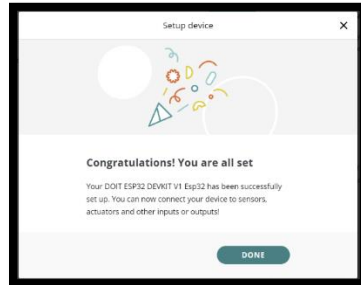


Figura 65. Mensaje de configuración exitosa

y en la ventana mostrada en la Figura 59 aparecerá la información del dispositivo asociado como se ve en la Figura 66.

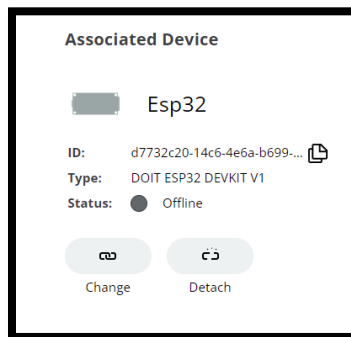


Figura 66. Dispositivo asociado

Para continuar, se necesitan ingresar los datos de la red wifi, en la que nos vamos a conectar, esta configuración se encuentra en el costado inferior derecho de la página mostrada en la Figura 59.

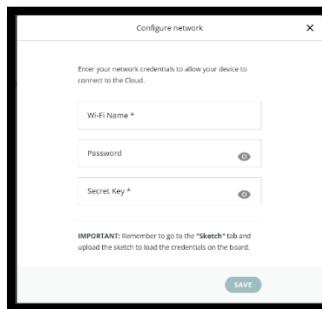
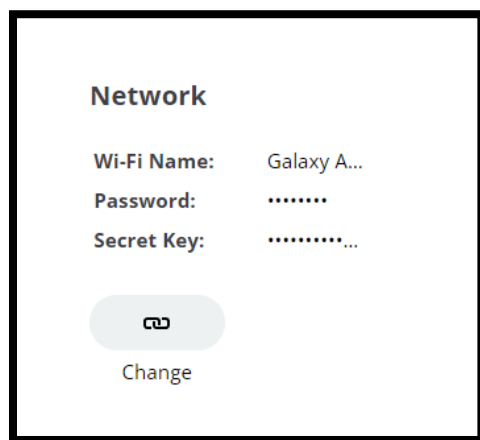


Figura 67. Configuración de red Wifi

La Figura 67, muestra los datos de la red que se deben ingresar como el nombre del SSID, la contraseña de la red y la llave secreta proporcionada previamente. Una vez que los datos son ingresados se habilitará el botón “SAVE”, en la ventana mostrada en la Figura 59 aparecerá la información de la red wifi a la cual está conectada como se muestra en la Figura 68.



Network

Wi-Fi Name: Galaxy A...

Password:

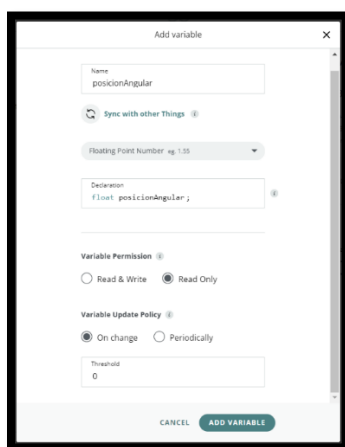
Secret Key:*

 Change

Figura 68. Datos de red Wifi

Para concluir con la configuración del proyecto, se deben configurar las variables que serán utilizadas mediante la aplicación IoT en el péndulo, este proyecto utiliza un sensor de posición angular que en este caso es un potenciómetro el cual puede ser interpretado por una señal analógica de tipo flotante y se sintoniza la posición angular mediante un valor en un rango de 0 a 90 grados el cual puede ser interpretado por valores enteros en el rango especificado.

Esta última configuración también se realiza en la ventana de la Figura 59 al presionar el botón “ADD” que aparece en la sección “Cloud variables”, la primera variable que se configurara es la que se utilizará para mostrar la posición angular del péndulo, los valores de la configuración se muestran en la Figura 69.



Add variable

Name: posicionAngular

 Sync with other Things

Floating Point Number eg: 1.55

Declaration: float posicionAngular;

Variable Permission: ☐ Read & Write ☒ Read Only

Variable Update Policy: ☒ On change ☐ Periodically

Threshold: 0

CANCEL ADD VARIABLE

Figura 69. Declaración de la variable de posición angular

Para la variable que se utilizará para sintonizar la posición, se realiza de la misma manera que la variable previa, pero con los valores mostrados en la Figura 70.

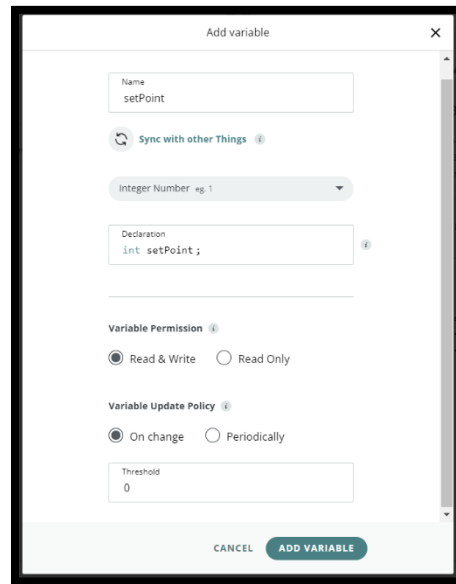


Figura 70. Declaración de la variable Setpoint

Con la configuración concluida, la página mostrada en la Figura 59 se debe visualizar como se muestra en la Figura 71.

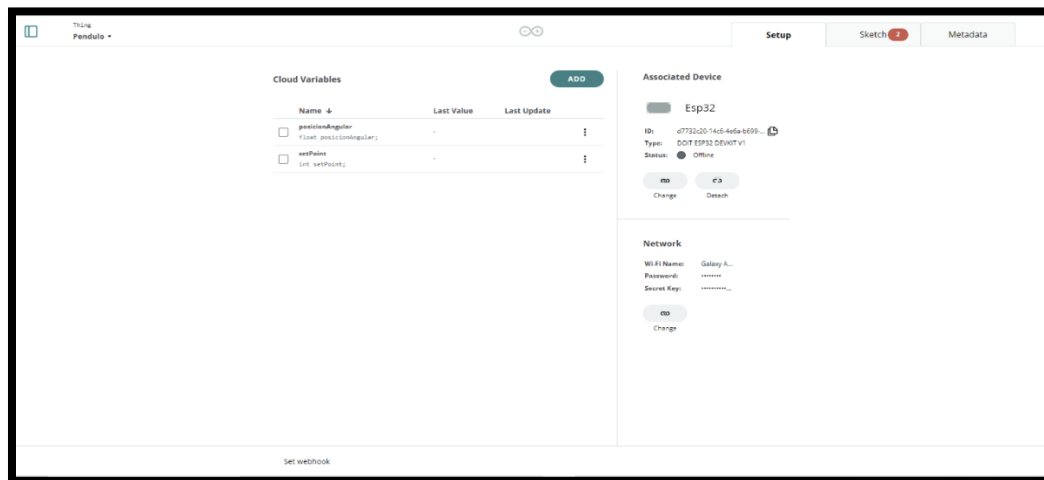
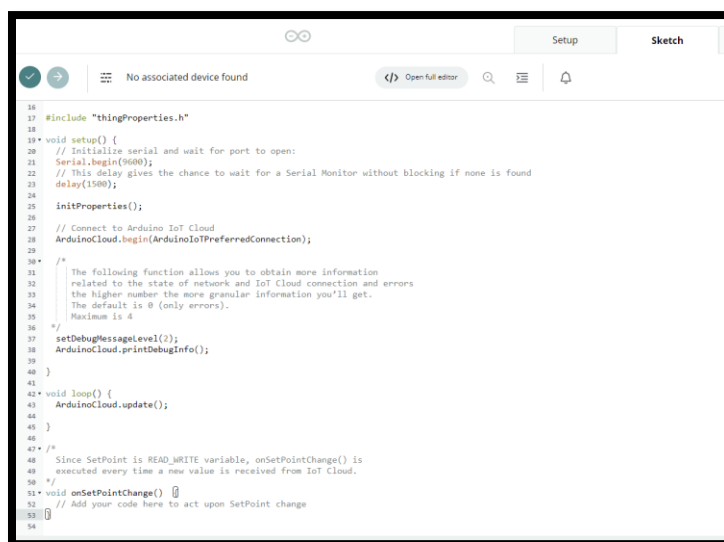


Figura 71. Configuración del proyecto

En la parte superior derecha de la ventana mostrada en la Figura 71 aparece la opción “Sketch”, esta opción muestra el código autogenerado que se actualiza automáticamente cuando hay una modificación en las variables ya sea si se crean o se eliminan, como se puede observar hay una notificación en color rojo con el número 2 en dicha opción, estas notificaciones indican que el código se actualizó 2 veces, es decir, una vez por cada variable que declaramos.

Al dirigirse a la opción “Sketch”, se verá el código generado automáticamente:



```

16
17 #include "thingProperties.h"
18
19 void setup() {
20   // Initialize serial and wait for port to open:
21   Serial.begin(9600);
22   // This delay gives the chance to wait for a Serial Monitor without blocking if none is found
23   delay(1500);
24
25   initProperties();
26
27   // Connect to Arduino IoT Cloud
28   ArduinoCloud.begin(ArduinoIoTPreferredConnection);
29
30   /*
31    * The following function allows you to obtain more information
32    * related to the state of network and IoT Cloud connection and errors
33    * the higher number the more granular information you'll get.
34    * The default is 0 (only errors).
35    * Maximum is 4
36    */
37   setDebugLogLevel(2);
38   ArduinoCloud.printDebugInfo();
39
40 }
41
42 void loop() {
43   ArduinoCloud.update();
44 }
45
46 /*
47 * Since SetPoint is READ_WRITE variable, onSetPointChange() is
48 * executed every time a new value is received from IoT Cloud.
49 */
50 void onSetPointChange() {
51   // Add your code here to act upon SetPoint change
52 }
53
54

```

Figura 72. Código generado automáticamente

por lo tanto, el siguiente paso es completar las líneas de código necesarias para realizar el proceso deseado.

3.3 Algoritmo para el Control PID

La ecuación diferencial que describe el comportamiento de la ley de control PID se muestra en la Ecuación 1

$$PID(t) = Kp * e(t) + ki * \int e(t)dt + kd * \frac{de(t)}{dt}$$

Ecuación 1. Ley de control PID

la ecuación correspondiente a la ley de control está conformada por tres términos que manipulan la señal de error con el objetivo de minimizar a cero la dinámica del error, el primer término manipula la señal de error mediante una ganancia proporcional kp , el segundo término obtiene la integral de la señal del error en conjunto con una ganancia ki y el tercer término obtiene la derivada de la señal de error en conjunto con una ganancia kd .

Para poder obtener el cálculo de los términos e implementarlo como algoritmo en cualquier lenguaje de programación, se considera la obtención de una ecuación discreta que trabaje con muestras k y periodos de muestreo T_s utilizando el método del trapecio para el tercer término y la definición de derivada para el tercer término, de esta manera la Ecuación 2 muestra la ecuación discreta que se debe interpretar en el lenguaje de programación.

$$PID(k) = Kp * e(k) + ki * \frac{e(k) + e(k-1)}{2} T_s + kd \frac{e(k) - e(k-1)}{T_s} + PID_0$$

Ecuación 2. Ecuación PID discreta.

3.4 Programación del control PID

Para el propósito de este proyecto, la ley de control PID discreta será implementada en el lenguaje c++ de Arduino y cargado a una tarjeta Esp32, en la Figura 73 se muestra la Ecuación 2 escrita en el lenguaje de programación propuesto y complementando el “void loop” del código mostrado en la Figura 72.

```
void loop() {
  ArduinoCloud.update();
  for(j = 0; j < 15; j++)
  {
    posicionAngular = posicionAngular + analogRead(portPin);
  }
  posicionAngular = ((posicionAngular/15)*275/4095) - 155;

  error_previo = error;
  error = referencia - posicionAngular;

  dt = (double)(micros() - timer)/1000000;
  timer=micros(); //actualizando timer

  p = p + kp*error;
  i = i + ki*((error+error_previo)/2)*dt;
  d = d + kd*((error-error_previo)/dt);
  pid = p + i + d;

  if(pid < 0)
  {
    ledcWrite(ledChannel, 0);
  }
  else if(pid > 80)
  {
    ledcWrite(ledChannel, 80);
  }
  else
  {
    ledcWrite(ledChannel, pid);
  }
}
```

Figura 73. Código de control PID

La variable nombrada “*posicionAngular*” es utilizada para realizar la lectura analógica de un potenciómetro cuya tarea es obtener la posición angular del eslabón y enviarla al “dashboard” de Arduino Cloud, la variable nombrada “*referencia*” es utilizada como su nombre lo dice, para establecer la referencia del control y su valor es obtenido desde el “dashboard” de Arduino Cloud mediante la función “*void onSetPointChange()*” como lo muestra la Figura 74, la señal de error es generada haciendo la comparación de la referencia y de la posición angular.

```
void onSetPointChange() {
  // Add your code here to act upon SetPoint change
  referencia = setPoint;
}
```

Figura 74. Valor de referencia

Finalmente, para cargar el código a la tarjeta Esp32 se debe especificar la tarjeta a utilizar mediante la opción “Set device flavours” y posteriormente seleccionar la opción “*Verify and upload*” como se muestra en la Figura 75.



Figura 75. Detección de la tarjeta

Si el programa no generó errores y se cargó correctamente, aparecerá la siguiente información en la Figura 76:

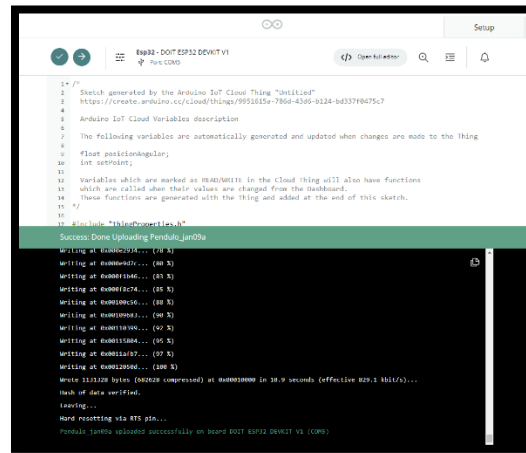


Figura 76. Carga del programa a la tarjeta ESP 32

3.5 Dashboard Arduino Cloud

Para poder visualizar la posición angular en el Dashboard necesitamos crear uno desde la página principal de Arduino Cloud.

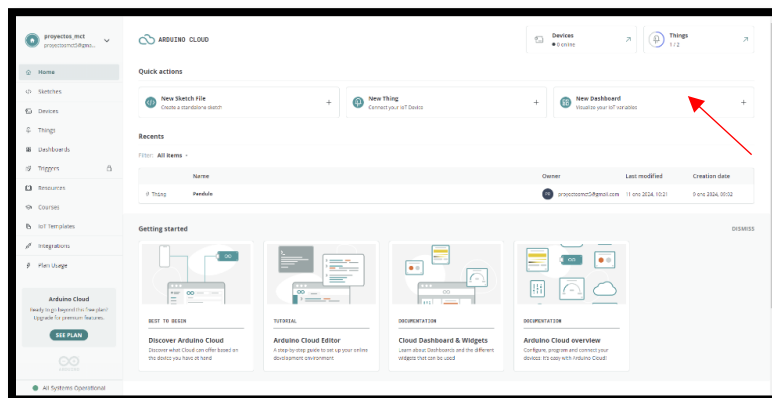


Figura 77. Home Arduino Cloud

Para poder agregar componentes en el Dashboard, se selecciona la opción “ADD”,



Figura 78. Agregar componentes al Dashboard

primeramente, seleccionaremos un “slider”:

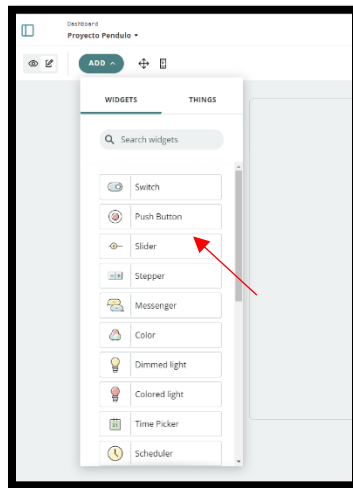


Figura 79. Selección de slider

asociamos la variable previamente definida como setPoint mediante la opción “link”, este componente servirá para sintonizar y enviarle la referencia al control del péndulo.

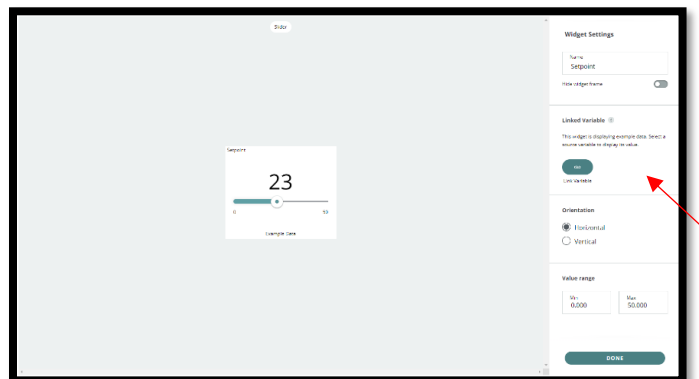


Figura 80. Asociar una variable al slider

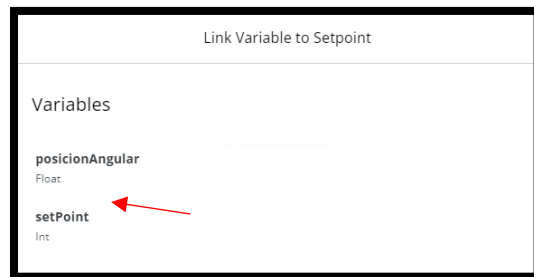


Figura 81. Elección de la variable *setPoint*

Una vez asociada la variable seleccionamos un rango de 0-90 y presionamos en el botón “done”.

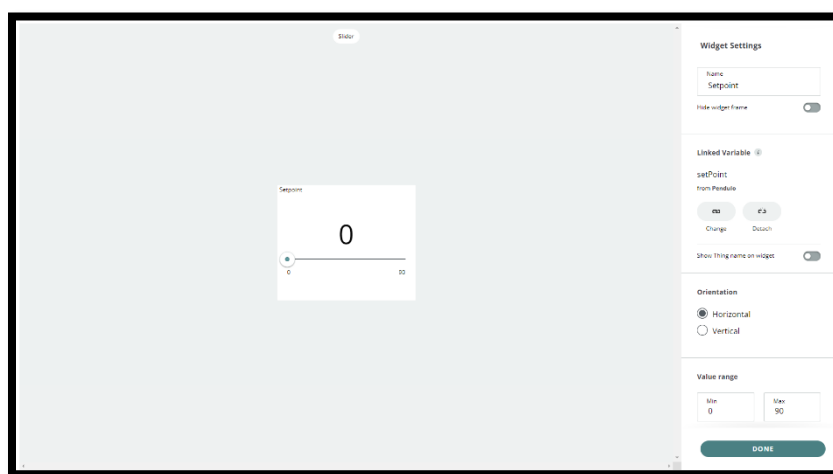


Figura 82. Configuración final del slider

Para obtener la gráfica con la posición angular realizamos el mismo procedimiento, pero en este caso el componente que se debe agregar es un “char”.

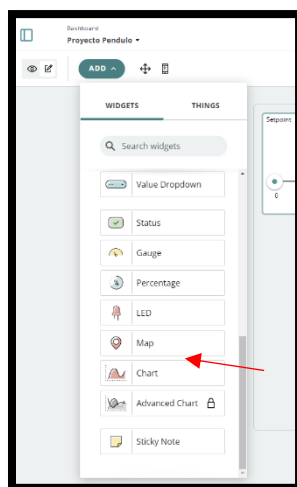


Figura 83. Selección de char

Este elemento se nombra “*posición Angular*”, se asocia con la variable “*posicionAngular*” y en la opción “*Data points interpolation*” se selecciona “*Line*”.

Agregados los dos componentes, se visualizarán en el dashboard y si se desea modificar su posición con la opción “*arrange widgets*” se puede manipular su posición, para el proyecto el dashboard se dejó acomodado como se ve en la Figura 84.

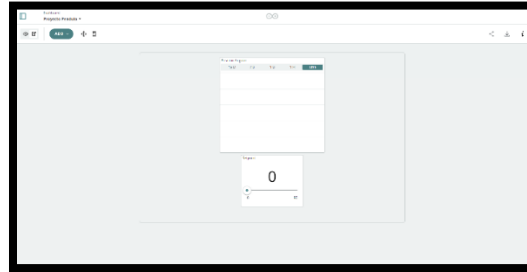


Figura 84. Dashboard

Para visualizar como se verá en una aplicación móvil se selecciona la opción “*show mobile layout*”, en donde se puede ajustar la forma en que se visualizaran los componentes, en la Figura 85 se muestra el resultado para el celular.

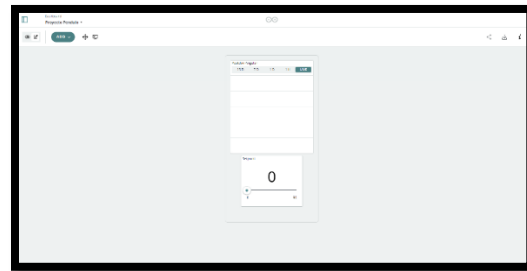


Figura 85. Dashboard aplicación móvil

3.6 Diagrama de conexión del péndulo

De acuerdo con el Pinout de la Esp32 se realizaron las conexiones del motor y del potenciómetro.

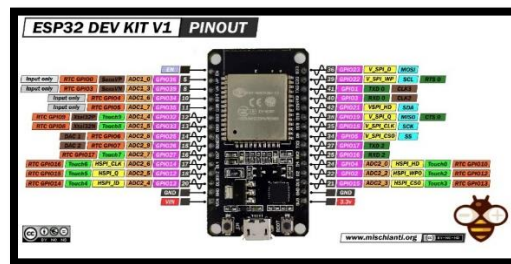


Figura 86. Pinout ESP32

3.6.1 Conexión con el motor

Para poder controlar y regular la velocidad del motor mediante una señal PWM generada por la tarjeta Esp32 se utilizó un mosfet IRF630 y se conectó al Pin físico 25 que corresponde al GPIO26.

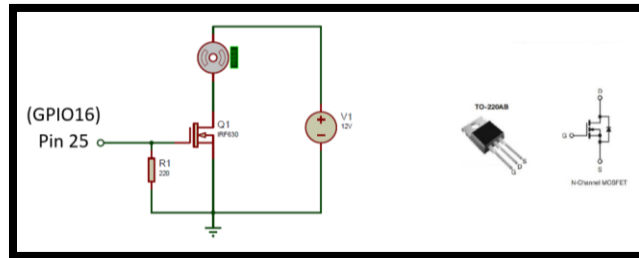


Figura 87. Conexión IRF630

3.6.2 Conexión con el Potenciómetro

Para poder obtener el valor de la posición angular se utilizó un potenciómetro de 100k Ω cuya señal se conectó en el Pin físico 11 que corresponde al GPIO35.

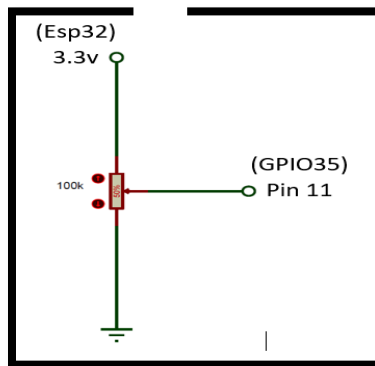


Figura 88. Conexión potenciómetro

Capítulo IV.

Resultados

El prototipo del péndulo utilizado es mostrado en la Figura 89, es un prototipo con el que ya se contaba previamente y que fue reconfigurado para el propósito de este trabajo. Las ganancias utilizadas en el controlador PID son $k_p = 0.004$, $k_i = 0.009$ y $k_d = 0.0005$, las cuales fueron sintonizadas de manera empírica.



Figura 89. Prototipo péndulo

La ejecución del sistema IoT es muy sencillo, para ejecutar el programa cargado en la Esp32 sólo basta con energizar la tarjeta para que en automático se conecte a la red wifi configurada y se vincule con la cuenta asociada de Arduino Cloud. Para poder sintonizar la posición deseada, así como, poder visualizar la respuesta del péndulo hay que acceder a la plataforma de Arduino Cloud y seleccionar el Dashboard creado previamente.

En la Figura 90, se muestra el Dashboard en donde se ajusta la posición a 45° mediante el slider y se visualiza la posición angular mediante el char que muestra la gráfica y en la Figura 91 se muestra la imagen del péndulo posicionado a 45° . En la Figura 92 y Figura 93 se muestra el Dashboard y el péndulo respectivamente en donde la posición esta ajustada a 10° .

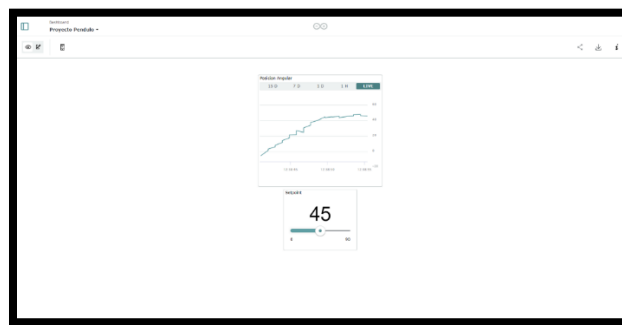


Figura 90. Dashboard con Setpoint = 45° y grafica de respuesta



Figura 91. Péndulo posicionado a 45°

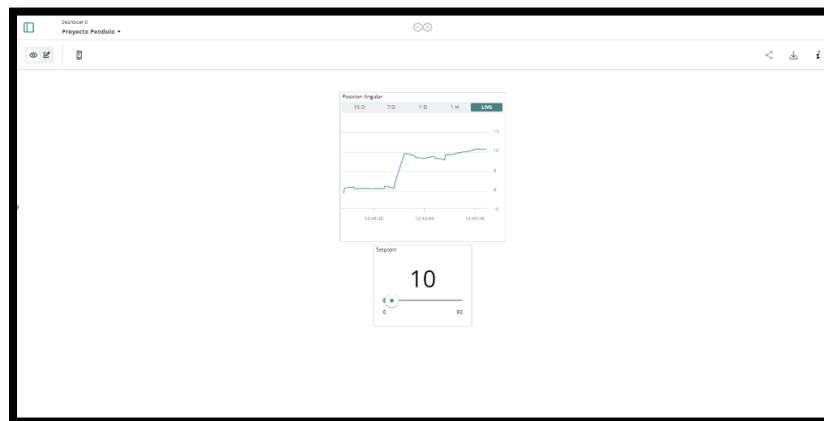


Figura 92. Dashboard con Setpoint = 10° y grafica de respuesta



Figura 93. Péndulo posicionado a 10°

Para el caso de aplicaciones móviles y poder visualizar la información del dashboard se necesita descargar la aplicación desde la app store de google en el caso de dispositivos Android, una vez descargada la aplicación solo basta con iniciar sesión y elegir el dashboard creado para poder visualizar la información, la interfaz es mostrada en la Figura 94.

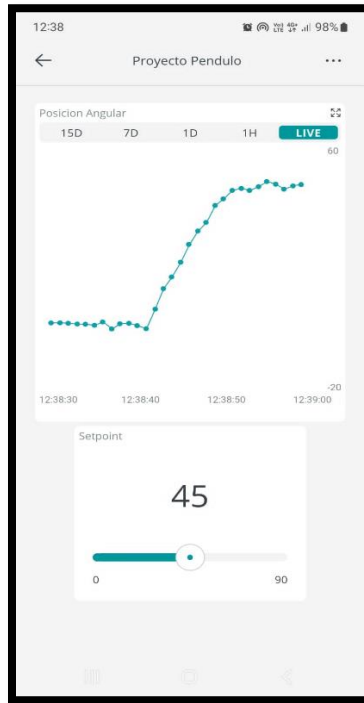


Figura 94. Dashboard en aplicación móvil

Capítulo V.

Conclusiones

La integración y programación de la tarjeta ESP 32 con la plataforma de Arduino Cloud es muy sencilla de implementar. Las desventajas de utilizar una versión de Arduino Cloud gratuita se ven reflejadas en la restricción de dos dispositivos por cuenta solamente, otra restricción importante es al momento de diseñar el Dashboard ya que se está restringido a los componentes básicos con los que se cuenta, para tener mayor libertad al momento de diseñar se debe pagar una suscripción mensual que permite realizar mejores diseños.

En cuestión de los datos mostrados es muy básico, al monitorear la información en tiempo real se pierde la noción de la información, aunque hay un histórico de visualización que muestra desde la ultima hora hasta días o semanas de funcionamiento, por otro lado, enviar información desde el Dashboard fue más ágil y la respuesta se ve reflejada inmediatamente.

Fuentes de Información

- [1] J. Tech, «PLATAFORMA ARDUINO IOT CLOUD - ESP32 - COMO CREAR UN PROYECTO,» YouTube, 19 Agosto 2021. [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=ybZDmEITyE>.
- [2] «Internet of Things Based Home Monitoring and Device Control Using ESP 32,» *Blue Eyes Intelligent Engineering & Sciences Publication*, pp. 2 - 6, 2019.
- [3] Uteh Str, «Arduino IOT Cloud + ESP32 | Using Arduino IOT Cloud with ESP32,» YouTube, 12 Agosto 2021. [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=c47pwDQmxEA>.
- [4] Tech Trends Shameer, «Voice-Activated Home: Arduino IoT Cloud with Alexa and ESP32 for Ultimate Automation!,» YouTube, 01 Diciembre 2023. [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=QxQ7sYWL80I>.
- [5] techiesms, «Using Arduino IoT Cloud with ESP32 | Is it better than New Blynk,» YouTube, 10 Julio 2021. [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=rcCxGcRwCVk>.
- [6] UNIVERSITI TUN HUSSEIN ONN MALAYSIA, «Data Transmission using ESP32 for Water Level Monitoring,» 29 Noviembre 2022. [En línea]. Available: <https://publisher.uthm.edu.my/periodicals/index.php/ekst/article/view/5330>.
- [7] How To Electronics, «Arduino IoT Cloud Based Home Automation & Appliances Control Project using ESP32,» YouTube, 01 Agosto 2021. [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=sJmul-RcIa4>.
- [8] S. S. Jordi Salazar, «Internet de las cosas,» *Tech Pedia*, pp. 7-34, 2020.
- [9] Kinsta, «¿Qué es el IoT (Internet de las Cosas)?,» Kinsta, 25 Enero 2023. [En línea]. Available: <https://kinsta.com/es/base-de-conocimiento/que-es-iot/>.
- [10] J. Diez, «Internet de las cosas IOT.,» Linkedin, 07 Noviembre 2019. [En línea]. Available: <https://es.linkedin.com/pulse/internet-de-las-cosas-iot-josean-d%C3%ADez>.
- [11] Observatorio Tecnológico de Hidalgo, «El internet de las cosas: ¿qué es y cómo funciona?,» Observatorio Tecnológico de Hidalgo, 17 Febrero 2022. [En línea]. Available: <https://otech.uaeh.edu.mx/noti/index.php/ic/el-internet-de-las-cosas-que-es->

y-como-funciona/.

- [12] K. Rose , S. Eldridge y L. Chapin, «La internet de las cosas - Una breve reseña,» *Internet Society*, pp. 4 - 13, 2015.
- [13] kaspersky, «¿Qué es la Internet de las cosas?,» kaspersky, [En línea]. Available: <https://latam.kaspersky.com/resource-center/definitions/what-is-iot>.
- [14] i2t Smart, «Internet de las Cosas (IoT),» [En línea]. Available: <https://i2t.com.mx/internet-de-las-cosas/>.
- [15] freepik, «IoT,» freepik, [En línea]. Available: https://www.freepik.es/fotos-premium/concepto-iot-o-internet-cosas-tecnologia-transferir-datos-diferentes-objetos-holograma-traves-telefono-inteligente-manos-persona- iconos_23624081.htm#from_view=detail_also like.
- [16] DispatchTrack, «Ventajas y desventajas del "internet de las cosa" (IoT),» DispatchTrack, [En línea]. Available: <https://www.beetrack.com/es/blog/ventajas-y-desventajas-internet-de-las-cosas-iot>.
- [17] M. Coutino, «Ventajas y Desventajas de IoT,» 05 Noviembre 2017. [En línea]. Available: <https://manuelcoutino.blogspot.com/2017/11/ventajas-y-desventajas-de- iot.html>.
- [18] S. Toyos, «Las 9 aplicaciones mas importantes del Internet de las Cosas (IoT),» fracttal, 10 Octubre 2018. [En línea]. Available: <https://www.fracttal.com/es/blog/9-aplicaciones-importantes-iot>.
- [19] Amazon Web Services, «¿Qué es IoT (Internet de las cosas)?,» Amazon Web Services, [En línea]. Available: <https://aws.amazon.com/es/what-is/iot/#:~:text=Una%20aplicaci%C3%B3n%20de%20IoT%20es,datos%20y%20tomar%20decisiones%20informadas..>
- [20] MadeinWeb, «Aplicaciones para la IoT,» MadeinWeb, 10 Febrero 2022. [En línea]. Available: <https://www.madeinweb.es/aplicaciones-para-iot/>.
- [21] DESIGN, «Empresa de desarrollo de apps IoT,» DESIGN, [En línea]. Available: <https://appdesign.dev/desarrollo-de-apps-de-iot-la-internet-de-las-cosas/>.
- [22] A. A. Valdes, «Aplicaciones más comunes de IoT,» linkedin, 06 Febrero 2023. [En línea]. Available: <https://es.linkedin.com/pulse/aplicaciones-m%C3%A1s-comunes-de-iot-axel-abraham-v>.
- [23] Innovación y Tecnología, «Dispositivos IoT,» Innovación y Tecnología, 18 Agosto 2020. [En línea]. Available: <https://innovacion-tecnologia.com/iot/dispositivos-iot/>.
- [24] App&Web, «Aplicaciones de IoT en el sector de la agricultura,» App&Web, 27 Diciembre 2019. [En línea]. Available: <https://www.appandweb.es/blog/iot->

agricultura/.

- [25] IAT, «IOT en logistica, gestion de almacenes y transporte,» IAT, [En línea]. Available: <https://iat.es/tecnologias/internet-de-las-cosas-iot/logistica/>.
- [26] ESGinnova Group, «El papel del IoT en las ciudades inteligentes,» ESGinnova Group, 15 Junio 2023. [En línea]. Available: <https://www.pmg-ssi.com/2023/06/el-papel-del-iot-en-las-ciudades-inteligentes/>.
- [27] K. Garcia Gil, «Estas son las principales ciudades inteligentes del mundo,» BBVA, 18 Agosto 2021. [En línea]. Available: <https://www.bbva.ch/noticia/estas-son-las-principales-ciudades-inteligentes-del-mundo/>.
- [28] Movildata, «¿Qué es la gestión de flotas?,» Movildata, [En línea]. Available: <https://movildata.com/recursos/gestion-de-flotas/>.
- [29] Centro de Formación Técnica para la Industria, «Internet de las Cosas (IoT): Qué es y cómo funciona,» Centro de Formación Técnica para la Industria, [En línea]. Available: <https://www.cursosaula21.com/internet-de-las-cosas-iot-que-es-y-como-funciona/>.
- [30] M. Barten, «El internet de las cosas en la industria hotelera,» Revfine, 17 Enero 2024. [En línea]. Available: <https://www.revfine.com/es/internet-de-las-cosas-industria-hotelera/>.
- [31] GFPLAB, «El IoT (internet de las cosas) aterriza en el Hotel,» GFPLAB, [En línea]. Available: <https://www.gfplab.com/domotica/el-iot-internet-de-las-cosas-aterriza-en-el-hotel/?lang=es>.
- [32] Azure, «Guía de protocolos y tecnologías de IoT,» Azure, [En línea]. Available: <https://azure.microsoft.com/es-mx/solutions/iot/iot-technology-protocols>.
- [33] Aprendiendo Arduino, «Ecosistema IoT,» Aprendiendo Arduino, [En línea]. Available: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2018/11/11/ecosistema-iot/>.
- [34] D. Hattingh, «¿Qué es un ecosistema IOT?,» adapt IT, 14 Enero 2022. [En línea]. Available: <https://telecoms.adaptit.tech/es/blog/what-is-an-iot-ecosystem/>.
- [35] E. Canle Fernández, «Dispositivos IoT: qué son, de qué tipos y más,» Tokio, 12 Septiembre 2022. [En línea]. Available: <https://www.tokioschool.com/noticias/dispositivos-iot/>.
- [36] Net Cloud Engineering, Net Cloud Engineering, [En línea]. Available: <https://netcloudengineering.com/dispositivos-iot-mas-divertidos/>.
- [37] C. Hall, «¿Qué es alexa y que puede hacer amazon echo?,» Pocket - lint, 22 Agosto 2023. [En línea]. Available: <https://www.pocket-lint.com/es-es/hogar-inteligente/noticias/amazon/138846-que-es-alexa-como-funciona-y-que-puede-hacer-amazons-alexa/>.

- [38] Alexa, «¿Por qué Alexa?,» Alexa, [En línea]. Available: <https://developer.amazon.com/es-ES/alexa>.
- [39] Robotina, «June oven: El horno inteligente especial para Smar Home,» Robotina, 23 Enero 2021. [En línea]. Available: <https://www.robotina.us/electrodomesticos/June-oven-El-horno-inteligente-especial-para-Smart-Home-20210123-0011.html>.
- [40] jtsec, «IOT PARA CONSUMIDORES(IOT),» jtsec, 2021. [En línea]. Available: <https://www.jtsec.es/es/ciberseguridad-iot>.
- [41] Novocargo, «Logistica y tracking de paquetes,» Novocargo, 25 Julio 2020. [En línea]. Available: <https://www.novocargo.com/logistica-tracking-paquetes-novocargo/>.
- [42] Telefonica, «Robots de vigilancia: ¿seran el futuro de la seguridad,» Telefonica, 28 Septiembre 2023. [En línea]. Available: <https://www.telefonica.com/es/sala-comunicacion/blog/robots-vigilancia-futuro-seguridad/>.
- [43] BBVA, «El negocio de los 'wearables' quiere pasar de pantalla,» BBVA, 23 Enero 2018. [En línea]. Available: <https://www.bbva.com/es/innovacion/negocio-wearables-quiere-pasar-pantalla/>.
- [44] Open sistemas, «Magalista: Ejemplos de dispositivos IoT,» Open sistemas, [En línea]. Available: <https://opensistemas.com/dispositivos-iot/>.
- [45] Fundacion Mapfre, «Seguridad Vial,» Fundacion Mapfre, [En línea]. Available: <https://www.fundacionmapfre.org/blog/fin-circula-seguro/>.
- [46] INVOX Medical, «Aplicaciones de IoT en medicina,» INVOX Medical, [En línea]. Available: <https://invomxmedical.com/blog/iot-medicina/>.
- [47] ComunidadEmpresas, «IoT en medicina o IoMT: qué es, ejemplos y cómo implementarlo,» ComunidadEmpresas, [En línea]. Available: <https://ce.entel.cl/articulos/iot-en-medicina/>.
- [48] A. Ibañez, «Marcas y negocios que han recibido un impulso gracias al IoT,» sarenet, 10 Febrero 2022. [En línea]. Available: <https://blog.sarenet.es/marcas-y-negocios-impulso-gracias-iot/>.
- [49] MARCA, «La confusión informativa que ha desesperado a Rolls-Royce,» MARCA, Diciembre 2020. [En línea]. Available: <https://www.marca.com/coches-y-motos/coches/rolls-royce/2020/06/12/5ee28990268e3efc528b4612.html>.
- [50] M. Treviño, «El IoT y 5 sectores que han crecido con él,» [En línea]. Available: <https://www.telcel.com/empresas/tendencias/notas/sectores-que-crecen-con-iot.html>.
- [51] tampahoy.com, «La fiesta del 50 aniversario de Walt Disney World comienza el 1 de octubre,» tampahoy.com, 22 Junio 2021. [En línea]. Available: <https://www.wfla.com/tampa-hoy/noticias-locales/la-fiesta-del-50-aniversario-de-walt->

disney-world-comienza-el-1-de-octubre/.

- [52] Amazon Wev Services, «AWS IoT,» Amazon Wev Services, 2023. [En línea]. Available: <https://aws.amazon.com/es/iot/#:~:text=AWS%20ofrece%20servicios%20y%20soluciones,de%20consumo%2C%20comerciales%20y%20automotrices.&text=Escale%2C%20traspase%20r%C3%A1pidamente%20y%20ahorre%20dinero%20con%20AWS%20IoT..>
- [53] Formacion Profesional, «¿Que es oracle y porque es tan importante para las empresas?,» Formacion Profesional, 21 Octubre 2019. [En línea]. Available: <https://fp.uoc.fje.edu/blog/que-es-oracle-por-que-importante-para-empresas/>.
- [54] C. Pereira, «Microsoft: que es, cuales son sus características y su historia,» Microsoft, 19 Septiembre 2022. [En línea]. Available: <https://www.mundocuentas.com/microsoft/>.
- [55] J. Marquez, «Microsoft,» Xataka, 21 Septiembre 2023. [En línea]. Available: <https://www.xataka.com/robotica-e-ia/microsoft-quiere-marcar-antes-despues-windows-ia-copilot-llegara-a-windows-11-26-septiembre>.
- [56] V. Osorio, «Google, el negocio es la informacion,» Expansion, 22 Julio 2016. [En línea]. Available: <https://www.expansion.com/directivos/2016/07/22/5791e2d9ca4741043e8b460c.html>.
- [57] Netec, «¿Que es CISCO?,» Netec, [En línea]. Available: <https://www.netec.com/que-es-cisco#:~:text=Cisco%20es%20una%20empresa%20de,una%20visi%C3%B3n%20clara%20del%20futuro..>
- [58] [En línea]. Available: <https://ctoperu.pe/fotoreportaje/16123/las-10-empresas-de-internet-de-las-cosas-mas-poderosas/>.
- [59] B. Becares, «IBM invierte 200 millones para impulsar el IoT en Europa,» ChannelBiz, 21 Octubre 2016. [En línea]. Available: <https://www.channelbiz.es/2016/10/21/ibm-invierte-200-millones-para-impulsar-el-iot-en-europa/>.
- [60] Barbara, «¿Que son los protocolos IoT y en que consisten?,» 29 Abril 2021. [En línea]. Available: <https://www.barbara.tech/es/blog/protocolos-iot-que-deberias-conocer>.
- [61] Tecnologia para los negocios, «Infracestructuras y Protocolos,» Tecnologia para los negocios, [En línea]. Available: <https://ticnegocios.camaravalencia.com/servicios/tendencias/caminar-con-exito-hacia-la-industria-4-0-capitulo-12-infraestructuras-ii-protocolos/>.
- [62] Ciencia y Tecnologia, «¿Cómo se conectan los dispositivos IoT a la red?,» Ciencia y Tecnologia, 27 Octubre 2022. [En línea]. Available: <https://www.universidadviu.com/pe/actualidad/nuestros-expertos/como-se-conectan-los-dispositivos-iot-la->

red#:~:text=La%20conectividad%20IoT%20es%20el,rastreadores%20o%20routers%20de%20red..

- [63] D. Alsen, M. Patel y J. Shangkuan, «El futuro de la conectividad: Facilitando el Internet de las Cosas,» CAIoT, 2020. [En línea]. Available: https://iot.org.ar/es_ES/el-futuro-de-la-conectividad-facilitando-el-internet-de-las-cosas/.
- [64] Truphone, «Qué es la conectividad IoT y cómo elegir la mejor opción,» Truphone, 27 Noviembre 2020. [En línea]. Available: <https://web.truphone.com/es/conocenos/newsroom/que-es-la-conectividad-iot-y-como-elegir-la-mejor-opcion/>.
- [65] G. Riveros Escudero, «Consideraciones de conectividad en IoT,» LinkedIn, 14 Noviembre 2023. [En línea]. Available: <https://es.linkedin.com/pulse/consideraciones-de-conectividad-en-iot-gustavo-riveros-escudero-se5fe>.
- [66] C. Sobrino, «QUÉ SON LAS PLATAFORMAS IoT Y SUS APLICACIONES EN LA INDUSTRIA,» CAPTIA, 27 Enero 2023. [En línea]. Available: <https://www.captia.es/blog/plataformas-iot.html>.
- [67] Y. DAI, «La mejor plataforma IoT para 2022,» EVVR, 02 Noviembre 2022. [En línea]. Available: <https://evvr.io/es/blogs/newsroom-2/best-iot-platform-for-smart-home>.
- [68] America digital news, «Plataformas IoT: Qué son y Por qué implementarlas,» America digital news, 27 Enero 2020. [En línea]. Available: <https://news.america-digital.com/iot-plataformas-implementacion-exitosa/>.
- [69] A. Cardenas, «¿Qué es una plataforma IoT?,» Secmotic, 28 Noviembre 2016. [En línea]. Available: <https://secmotic.com/plataforma-iot/#gref>.
- [70] GEEKFLARE, «IoT superior Plataformas para Empower Sus proyectos para soluciones más inteligentes,» GEEKFLARE, 02 Enero 2024. [En línea]. Available: <https://geekflare.com/es/best-iot-platforms/>.
- [71] D. Boman, «Openremote,» 2024. [En línea]. Available: <https://www.openremote.io/>.
- [72] BBVA, «El Internet de las Cosas de código abierto: plataformas y aplicaciones para desarrolladores,» BBVA, 25 Agosto 2015. [En línea]. Available: <https://www.bbvaapimarket.com/es/mundo-api/el-internet-de-las-cosas-de-codigo-abierto-plataformas-y-aplicaciones-para/>.
- [73] Arduino, «¿Qué es Arduino?,» Arduino, [En línea]. Available: <https://arduino.cl/que-es-arduino/>.
- [74] C. Yañez, «Qué es Arduino IoT Cloud,» CEAC, 03 Noviembre 2020. [En línea]. Available: <https://www.ceac.es/blog/que-es-arduino-iot-cloud>.

- [75] Electronics, «Arduino IoT Cloud,» Electronics, 20 Agosto 2022. [En línea]. Available: <https://how2electronics.com/getting-started-with-arduino-iot-cloud-with-esp8266/>.
- [76] GetApp, «Plataformas IoT,» GetApp, [En línea]. Available: <https://www.getapp.com.mx/directory/1395/iot/software?sort=popularity>.
- [77] [En línea]. Available: <https://cloud.google.com/404>.
- [78] nubosoft, «¿Que es Google Cloud?,» nubosoft, 2023. [En línea]. Available: <https://nubosoft.com/que-es-google-cloud-2/>.
- [79] A. Woodie, «Knowi,» Datanami, 2021 Enero 2021. [En línea]. Available: <https://www.datanami.com/2021/01/12/knowi-aims-to-elevate-answers-within-slack/>.
- [80] HILLAMAN CURTIS, «ARDUINO CLOUD: A COMPREHENSIVE GUIDE TO CLOUD-BASED IOT DEVELOPMENT,» HILLAMAN CURTIS, 2022. [En línea]. Available: <https://hillmancurtis.com/arduino-cloud/>.
- [81] C. Volt, «Arduino IoT Cloud,» RogerBit, 07 Febrero 2019. [En línea]. Available: <https://rogerbit.com/wprb/2019/02/arduino-iot-cloud/>.
- [82] DigiKey, «Descripción general, características y planes de Arduino Cloud,» DigiKey, 04 Abril 2022. [En línea]. Available: <https://www.digikey.com.mx/es/maker/blogs/2022/arduino-cloud-overview-features-and-plans>.
- [83] Programador Novato, «¿Qué es ESP32?,» Programador Novato, [En línea]. Available: <https://www.programadornovato.com/esp32-que-es-y-para-que-sirve/>.
- [84] Last Minute Engineers, «Referencia de asignación de pines ESP32,» Last Minute Engineers, [En línea]. Available: <https://lastminuteengineers.com/esp32-pinout-reference/>.
- [85] J. A. Rivera Morales, «ESP32 CARACTERÍSTICAS Y PINES,» 12 Febrero 2022. [En línea]. Available: <https://pasionelectronica.com/esp32-caracteristicas-y-pines/>.
- [86] [En línea]. Available: <https://todomaker.com/blog/conociendo-al-esp32/>.
- [87] Last Minute Engineers, «Instalación de la placa ESP32 en el IDE de Arduino,» Last Minute Engineers, [En línea]. Available: <https://lastminuteengineers.com/esp32-arduino-ide-tutorial/>.
- [88] B. Ramos, F. Dominguez y E. Del Rosario, «IDE Arduino con ESP 32,» Grupo de Investigacion de Redes de Informacion Inalambricas, 15 Diciembre 2018. [En línea]. Available: <http://blog.espol.edu.ec/girni/category/iot-esquema-abierto/1-iot-esquema-componentes/>.
- [89] MMJ Smart Electronics, «Programacion en ESP32 y sus aplicaciones en IoT,» MMJ Smart Electronics, 2020. [En línea]. Available: <https://smartelectronics.com.pe/esp32->

and-apps-online-info/.

- [90] D. Barrios, «¿Qué son los controladores PID y que depara el futuro?,» LinkedIn, 17 Diciembre 2022. [En línea]. Available: <https://es.linkedin.com/pulse/qu%C3%A9-son-los-controladores-pid-y-cu%C3%A1l-es-su-historia-darwin-barrios>.
- [91] C. F. Pardo Martin, «Controlador PID,» Tecno Recursos, 2024. [En línea]. Available: <https://www.picuino.com/es/control-pid.html>.
- [92] Franklin Electric, «¿Qué es el control PID?,» Franklin Electric, 16 Febrero 2022. [En línea]. Available: <https://franklinlinkmx.wordpress.com/2022/02/16/que-es-el-control-pid/>.
- [93] Rethinking the future, «¿Qué es el control PID? Sus aplicaciones en la Industria,» Rethinking the future, 18 Agosto 2022. [En línea]. Available: <https://mintforpeople.com/noticias/que-es-control-pid/>.
- [94] K. Gomez, «Control PID con prealimentacion,» Prezi, 20 Mayo 2014. [En línea]. Available: https://prezi.com/lldoqvfh_cmv5/control-pid-con-prealimentacion/.
- [95] SDI, «Sistemas de control,» SDI, [En línea]. Available: <https://sdindustrial.com.mx/blog/sistemas-de-control/>.
- [96] Pablo, «Sistemas de Control - Robotica,» YouTube, 11 Mayo 2020. [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=2SHQTUvvVuM>.
- [97] A. Brunete, «Sistemas de Control,» Automatización Industrial, [En línea]. Available: https://bookdown.org/alberto_brunete/intro_automatica/sistemas-de-control.html.
- [98] C. F. Pardo Martin, «Método de Ziegler-Nichols,» Tecno Recurso, 2024. [En línea]. Available: <https://www.picuino.com/es/control-ziegler-nichols.html#:~:text=El%20m%C3%A9todo%20de%20sintonizaci%C3%B3n%20de,del%20sistema%20en%20lazo%20cerrado..>
- [99] *F.d.I.UNMdP*, «Controlador PID,» [En línea]. Available: www3.fi.mdp.edu.ar. [Último acceso: 12 01 2024].