



CARRERA DE ESPECIALIZACIÓN EN INTERNET DE LAS COSAS

MEMORIA DEL TRABAJO FINAL

Sistemas de control y monitoreo para viviendas y edificios

Autor:

Daniel Iván Cruz Flores

Director:

Mg. Ing. Matías Alvarez (FIUBA)

Jurados:

Mg. Ing. Martín Menendez (FIUBA)

Mg. Ing. Christian Marcelo Yanez Flores (FIUBA)

Esp. Ing. Santiago Salamandri (FIUBA)

*Este trabajo fue realizado en la ciudad de Buenos Aires,
entre agosto de 2020 y diciembre de 2021.*

Resumen

Esta memoria describe el diseño e implementación de un sistema automatizado para el control y monitoreo de variables de consumo energético en el hogar. El sistema se destaca especialmente por unificar resultados de una red de sensores por vía inalámbrica usando el protocolo MQTT para el servidor local y remoto.

Asimismo, incluye el desarrollo de una plataforma web para visualizar resultados, un módulo de medición de temperatura, un módulo actuador, un módulo de consumo de corriente eléctrica y un servidor local.

En este trabajo se aplicaron conocimientos de protocolos de Internet, configuración de redes inalámbrica, base de datos relacionales, desarrollo de aplicaciones web, programación orientada a objetos en Python, ciberseguridad y testing de software.

Agradecimientos

Quiero expresar mi gratitud a Dios por ser mi guía y acompañarme en el transcurso de mi vida brindándome paciencia y sabiduría para culminar con éxito mis metas propuestas.

A mis padres, a mi esposa Gabriela y a mi hijo Carlos Daniel por ser mis principales pilares y por haberme apoyado incondicionalmente para no decaer cuando todo parecía complicado e imposible.

A mis hermanos por estar siempre presentes, por el apoyo y el soporte moral.

A todos los docentes que con su conocimiento motivaron a desarrollarme como persona y profesional.

A mi director Matías Álvarez por su buena predisposición y orientación durante la realización del presente trabajo.

A mi amigo Sergio Cotos y a todas las personas que contribuyeron con un granito de arena para culminar con éxito esta meta propuesta.

Índice general

Resumen	I
1. Introducción general	1
1.1. Motivación	1
1.2. Identificación y análisis	2
1.2.1. Propósito	2
1.2.2. Alcance	2
1.2.3. Objetivos	3
1.3. Estado del arte	3
1.3.1. Sistemas de monitoreo para gestión de energía eléctrica . . .	3
1.3.2. Módulos independientes para gestión de energía eléctrica .	5
1.3.3. Comparación entre soluciones	6
1.4. Conceptos generales	7
1.4.1. IoT y computación en la nube	7
1.4.2. Sensores y redes inalámbricas	8
1.4.3. Tipos de redes de IoT	8
2. Introducción específica	10
2.1. Servicios en la nube	10
2.2. Protocolo MQTT	12
2.3. Elementos del bróker MQTT	13
2.4. Eclipse mosquitto	14
2.5. Hardware del servidor local	14
2.5.1. Sistema operativo para el servidor local	15
2.6. Hardware y software utilizados para los módulos	15
2.6.1. Placa Nodemcu ESP8266	15
2.6.2. Sensor de temperatura y humedad DHT11	17
2.6.3. Sensor de Corriente AC SCT-013-030	18
2.6.4. Relé Actuador	19
2.6.5. Lenguajes de programación	20
3. Diseño e implementación	21
3.1. Análisis del software	21
4. Ensayos y resultados	22
4.1. Pruebas funcionales del hardware	22
5. Conclusiones	23
5.1. Conclusiones generales	23
5.2. Próximos pasos	23

Índice de figuras

1.1. Noticias de la problemática en Lima Perú ¹	2
1.2. Sistema y productos Energy Vision ²	4
1.3. Sistema y productos Iammeter ³	4
1.4. Sistema y productos Bee2energy ⁴	5
1.5. Tomacorriente inteligente de facil uso ⁵	5
1.6. Medidor digital monofásico ⁶	6
2.1. Tipos de servicio y orientación por rol ⁷	10
2.2. Infraestructura por capas según el tipo de servicio ⁸	12
2.3. Funcionamiento del broker Mqtt ⁹	12
2.4. Ejemplo de funcionamiento del protocolo Mqtt ¹⁰	13
2.5. Especificaciones de Raspberry Pi 4 ¹¹	14
2.6. Versiones del sistema operativo para Raspberry Pi ¹²	16
2.7. Diferencia visual entre los modelos NodeMCU.	16
2.8. Modelo y dimensiones del sensor DHT11.	17
2.9. Modelo y dimensiones del sensor SCT-013-030 AC ¹³	18
2.10. Modelos de relés con activación de 5V.	19

Índice de tablas

1.1. Comparativa de soluciones entre producto y sector	6
1.2. Comparativa de soluciones entre acceso y servidor	6
1.3. Comparativa de soluciones entre protocolo y hardware	7
1.4. Comparativa de módulos entre protocolo y hardware	7

Dedicado a... [OPCIONAL]

Capítulo 1

Introducción general

Para entender este trabajo es necesario describir ciertos conceptos, explicarlos y comparar herramientas para conocer cuáles nos ofrecen mejores prestaciones para el desarrollo de una solución tecnológica en la gestión eficiente de la energía eléctrica.

1.1. Motivación

Cuando se enciende la plancha o cualquier otro artefacto se produce un consumo de energía eléctrica que normalmente se desconoce. Simplemente a final de mes, se recibe la factura de consumo eléctrico, donde se indica el consumo mensual y lo que has de pagar. A muchas de las empresas que tienen procesos industriales les ocurre lo mismo y es que el control del consumo de manera precisa es algo que no está normalizado en el ámbito doméstico (Smart Home) y sigue siendo un aspecto aun por mejorar. Este control es muy importante ya que gracias a él podemos mejorar la eficiencia energética, ahorrando dinero para una familia o una empresa y a la vez siendo respetuosos con el medio ambiente.

Bajo ese contexto antes y durante la pandemia por el Covid-19, se han venido registrando miles de quejas por montos excesivos en los recibos de energía eléctrica en muchos departamentos en el país de Perú. Antes de la pandemia, una usuaria de Luz del Sur pagaba 80 soles al mes (\$20 USD al cambio actual) por el servicio de energía eléctrica en su vivienda en la ciudad de Lima. Ahora, pretenden cobrarle 180 soles por mes (\$45 USD al cambio actual). Cuando el usuario quiso reclamar, la empresa responsable de brindar el servicio no le contestaba. Algo parecido le pasó a una asociación de comerciantes a la que, a pesar de que su establecimiento estaba cerrado desde el 16 de marzo del 2020, La empresa EDELNOR pretende cobrarle 250 soles (\$ 62 USD al cambio actual) por consumos no realizados durante el mes. Estos son algunos de los miles de denuncias de consumidores que se han hecho públicas en el país de Perú.

Entre el 16 de marzo y fines de junio de 2020, cuando el Gobierno peruano declaró el Estado de Emergencia Nacional por el COVID-19, las empresas generadoras de electricidad dejaron de enviar a su personal a las viviendas para realizar la lectura de los consumos en los medidores de energía eléctrica de los predios y facturaron por el consumo promedio de los seis meses anteriores. En muchos casos se encontró que los consumos normales habían crecido enormemente, en otros se duplicaron y hasta se triplicaron. Este aparente sinceramiento de los consumos generó miles de reclamos por cobros excesivos como se ilustra con la figura 1.1.

El mayor número de reclamos de los usuarios se presentó en julio y agosto de 2020. En solo una semana, el Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN) recibió en Lima alrededor de 20 mil reclamos, tanto contra ENEL como por LUZ DEL SUR. Esta situación se repitió a nivel nacional, sobre todo en las regiones de Puno, La Libertad, Áncash y Ucayali.



FIGURA 1.1. Noticias de la problemática en Lima Perú ¹.

El organismo supervisor del estado recordó que en los casos donde la lectura del medidor confirme que el consumo real ha sido menor al facturado, la empresa deberá devolver lo pagado en exceso en una sola oportunidad o proceder a refacturar.

Realizar el proceso de refacturación para corregir estos errores costará demasiado tiempo y dinero al estado y a las empresas que ofrecer dicho servicio, presentando incomodidad y daño económico a toda la población afectada.

Como parte de los usuarios afectados en esta problemática en Perú, me surge la necesidad de desarrollar un sistema de monitoreo y control que me permita conocer el consumo eléctrico mensual detallado, siendo este una herramienta automatizada de respaldo y que sirva como evidencia para prevenir facturaciones equivocadas para hogares, edificios habitacionales, empresas, etc.

1.2. Identificación y análisis

1.2.1. Propósito

El propósito de este proyecto es diseñar y desarrollar un sistema informático capaz de controlar y monitorear viviendas u otros ambientes mediante el protocolo MQTT para brindar una gestión inteligente respecto a confort y consumo energético.

1.2.2. Alcance

El proyecto incluye los siguientes items:

- Diseño y desarrollo de un módulo principal local.
- Diseño y desarrollo del módulo replicador de datos local-nube.

¹Imagen tomada de <https://rpp.pe/noticias/luz-del-sur>

- Diseño y desarrollo del módulo actuador y de consumo.
- Diseño y desarrollo del módulo de control de temperatura.

1.2.3. Objetivos

- Diseñar y desarrollar un sistema IoT para medir el consumo eléctrico.
- Diseñar y desarrollar un sistema que no dependa del Internet para su funcionamiento.
- Diseñar y desarrollar un software a medida para la gestión de control y monitoreo de una vivienda o edificio.
- Diseñar e implementar módulos con comunicación wifi para el control y monitoreo de energía eléctrica.

1.3. Estado del arte

A continuación, se describen soluciones que son usadas en el control del consumo eléctrico y que están actualmente en el mercado comercial.

Para la fácil comprensión se los clasifica en dos categorías:

- Sistemas de monitoreo para gestión de energía eléctrica.
- Módulos independientes para gestión de energía eléctrica.

1.3.1. Sistemas de monitoreo para gestión de energía eléctrica

Los sistemas de monitoreo son sistemas integradores automatizados que integran un software de control y monitoreo, sensores y actuadores, por ejemplo:

- **Energy Vision:** solución de software para gestión del consumo de energía.

Energy vision - Centraline es una nueva herramienta de software de gestión energética profesional con el fin de lograr un ahorro importante y maximizar la eficiencia energética. El software permite recopilar y analizar todas las formas de uso de energía para una gestión energética profesional y constituye un componente esencial en la automatización de edificios eficientes desde el punto de vista energético.

Esta herramienta de software contiene gráficos y diagramas visualmente atractivos y proporcionan una presentación ordenada y fácil de comprender de la información que se necesita. Recopila, archiva, evalúa y consulta todos los datos de un edificio. El sistema se ilustra con la figura 1.2

Se puede acceder al sistema desde todo tipo de dispositivos mediante un navegador con Internet.

²Imagen tomada de <https://www.centraline.com/it/IT/prodotti-e-documentazione/special/energy-vision-nx.html>

FIGURA 1.2. Sistema y productos Energy Vision ²

■ **Iammeter:** sistema de monitoreo de energía.

Iammeter es un sistema de monitoreo basado en de energía fotovoltaico dedicado, al que se puede conectar medidores de energía Wi-Fi y luego comenzar a rastrear el uso de electricidad de su hogar o edificio comercial, y monitorear el flujo de energía del sistema fotovoltaico solar.

El sistema Iammeter puede generar un análisis integral del consumo de energía por usuarios, ofreciendo gráficos de datos y algunos detalles en el panel de información general. Ofrece el cálculo de la factura de la luz diaria/mensual y monitoreo en tiempo real del uso de electricidad. El sistema se ilustra con la figura 1.3.

FIGURA 1.3. Sistema y productos Iammeter ³.

Se puede acceder sistema desde todo tipo de dispositivos mediante un navegador con Internet o mediante su aplicación móvil.

³Imagen tomada de <https://es.iammeter.com/>

- **Bee2energy:** gestión de Eficiencia Energética.

El sistema Bee2energy de la empresa Compta ofrece un servicio integral de software que permite a las empresas e instituciones lograr mejoras significativas en el uso de la eficiencia energética a la vez que minimiza los impactos ambientales, reduciendo los consumos y los costos operativos. El sistema se ilustra con la figura 1.4.

Bee2energy es una solución IoT basada en la nube a la que se puede acceder en cualquier momento y en cualquier lugar a través de Internet. Brinda operaciones en tiempo real con un modelo de negocio SaaS flexible y con capacidad multicanal.



FIGURA 1.4. Sistema y productos Bee2energy ⁴.

Ofrece monitoreo en tiempo real de consumos, temperaturas, humedad y otros indicadores, configuración de reglas y encender / apagar equipos automáticamente o configurar alarmas y notificaciones.

1.3.2. Módulos independientes para gestión de energía eléctrica

Los módulos independientes son sensores o actuadores que se comercializan de forma individual, puede ser un sensor de consumo, interruptores o tomacorrientes inteligentes, por ejemplo:

- **Tomacorriente smart:** es la manera más sencilla de convertir en inteligentes tus dispositivos electrónicos para poder controlarlos. Simplemente se debe conectar en un tomacorriente de CA (corriente alterna) e integrarlo a la red wifi existente, no requiere un concentrador y a través de una aplicación, puedes encender y apagar las luces o electrodomésticos en forma remota desde cualquier lugar. Por ejemplo el dispositivo de la figura 1.5.

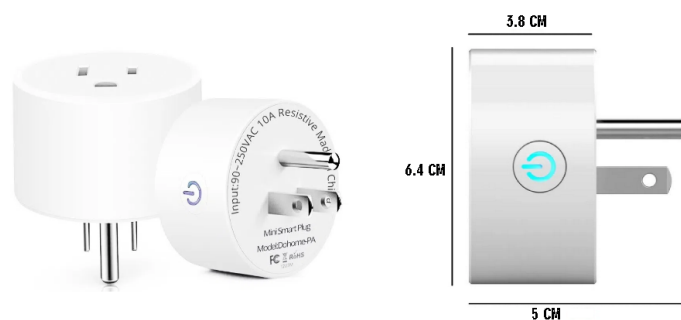


FIGURA 1.5. Tomacorriente inteligente de fácil uso ⁵.

⁴Imagen tomada de <https://www.ceb-solutions.com/es/productos/bee2energy/>

- **Medidor digital eléctrico monofásico:** es medidor tipo electrónico con cubierta de policarbonato diseñado para controlar el consumo de energía de manera independiente, tiene una alta resistencia a la humedad, corrosión y temperatura. Por ejemplo el dispositivo de la figura 1.6.

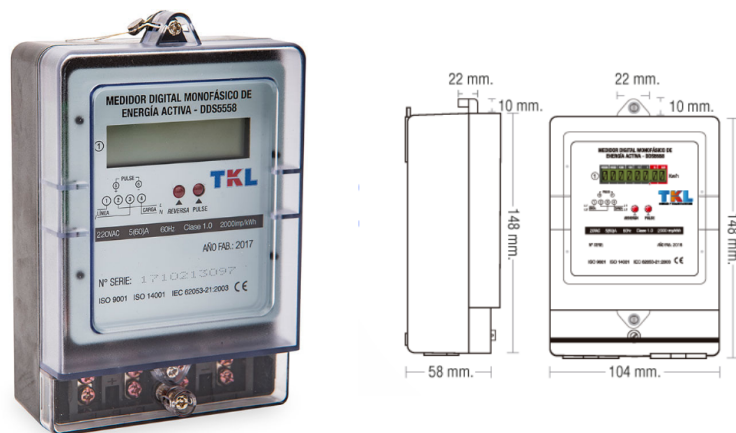


FIGURA 1.6. Medidor digital monofásico ⁶.

Es un medidor que incluye una pantalla LCD donde muestra la lectura de watts utilizados dentro de una vivienda, negocio u oficina.

1.3.3. Comparación entre soluciones

La comparación entre las distintas soluciones mencionadas se muestran en las tablas 1.1, 1.2, 1.3 y 1.4, considerando aspectos más relevantes para conocer sus principales diferencias según su categoría.

- Sistemas de monitoreo para gestión de energía eléctrica:

TABLA 1.1. Comparativa producto y sector

Empresa	Producto	Sector
Honeywell International Inc	Energy Vision	Energético
Beijing Lewei IOT Technologies Co. Ltd.	Iammeter	Energético solar
Compta Energing Business	Bee2energy	Energético

TABLA 1.2. Comparativa acceso y tipo de servidor

Producto	Acceso	usó	S. local	S. remoto
Energy Vision	Local y remoto	Navegador	No	Si
Iammeter	Local y remoto	Navegador y App.	No	Si
Bee2energy	Local y remoto	Navegador	No	Si

⁵Imagen tomada de <https://www.promart.pe/electricidad/interruptores-y-tomacorrientes/>

⁶Imagen tomada de <https://www.promart.pe/medidor-digital-ciclotrimetrico-60-amperios/>

TABLA 1.3. Comparativa protocolo y tipos de hardware

Producto	Protocolo	Sensores y actuadores
Energy Vision	Modbus, M-Bus y TCP/IP	Propios
Iammeter	Mqtt y TCP/IP	Propios y compatibles con dispositivos sonoff
Bee2energy	Múltiples protocolos IoT	Propios y compatibles con otros comerciales

- Módulos independientes para gestión de energía eléctrica:

TABLA 1.4. Comparativa protocolo y tipos de hardware

Producto	Protocolo	Función	Acceso
Tomacorriente smart	TCP/IP (wifi)	Interruptor inteligente.	App. móvil
Medidor digital eléctrico	-	Registro de consumo.	Presencial visual

1.4. Conceptos generales

En esta sección se describen aspectos esenciales para poder conocer y entender las tecnologías y servicios usados en el proyecto.

1.4.1. IoT y computación en la nube

Internet de las Cosas (IoT) y la computación en la nube (*Cloud Computing*) son dos conceptos y soluciones que cada día ocupan una mayor importancia en el desarrollo tecnológico industrial y empresarial, pero antes de abordar su rol e importancia es importante definirlos:

- Internet de las Cosas (IoT): hace referencia a una tecnología basada en la conexión de objetos cotidianos a Internet que intercambian, agregan y procesan información sobre su entorno físico para proporcionar servicios de valor añadido a los usuarios finales. También reconoce eventos o cambios, y tales sistemas pueden reaccionar de forma autónoma y adecuada.

En palabras más cotidianas IoT es un conjunto de tecnologías que facilita la integración de sensores y actuadores que nos informan del estado de elementos cotidianos, como electrodomésticos, vehículos, herramientas o incluso seres vivos. Nos permite interactuar con ellos, habilitando su conectividad con plataformas en la nube que reciben y procesan la información para, tras su análisis, poder tomar decisiones.

- Cloud Computing: la computación en la nube como paradigma proporciona a las empresas y usuarios necesidades informáticas (como software, almacenamiento de datos, capacidad de procesamiento, etc.) a través de internet que son fácilmente escalables bajo demanda. Los documentos, correos electrónicos y otros datos, así como las aplicaciones informáticas, se almacenarán “en la nube”, es decir, en línea, de modo que se puede acceder a los mismos desde cualquier ordenador o dispositivo móvil.

La generalización del *Cloud Computing* en la infraestructura TIC (tecnologías de información y comunicación) habilita la viabilidad de ejecutar aplicaciones completamente en Internet. En particular, permite flexibilidad de acceso.

De una forma sencilla podemos decir que la computación en la nube es una tecnología que permite acceso a software, almacenaje de ficheros y procesamiento de datos a través de Internet, siendo una opción alternativa a la ejecución en un servidor local.

En el modelo de nube, no es necesario instalar aplicaciones de forma local en computadoras.

1.4.2. Sensores y redes inalámbricas

En la revolución de la industria conectada (Industria 4.0) cada vez existe una mayor oferta de sensores inteligentes que, además de medir la magnitud en cuestión, llevan integrado un circuito electrónico compatible con los estándares de comunicaciones más habituales en el mundo de IoT. Capturar datos y métricas siempre ha sido una necesidad en el mundo de los procesos y operaciones industriales.

- Sensores: son dispositivos capaces de convertir el mundo real (físico/químico) en el mundo digital (electrónico), nos permiten llevar la realidad a una dimensión que podemos gestionar para finalmente tomar decisiones e, incluso, actuar sobre el propio entorno. Son equipos que convierten la magnitud de entrada (temperatura, humedad, nivel, presión, etc.) en una señal eléctrica medible e interpretable por los dispositivos electrónicos.
- Redes inalámbricas: las redes inalámbricas (Wireless) logran propagar la conexión entre dispositivos a través de medios no físicos, usan diferentes tecnologías como las ondas electromagnéticas, radiación y medios ópticos para su transferencia. Existen varios tipos de redes inalámbricas con diferentes alcances y funcionalidades.

1.4.3. Tipos de redes de IoT

Podemos clasificarlas en dos categorías:

1. Redes de corto alcance y bajo consumo

Las redes de baja potencia y corto alcance están indicadas para hogares, oficinas y otros entornos de reducido tamaño. Normalmente, necesitan baterías pequeñas y su uso suele resultar económico. Por ejemplo:

- Bluetooth
- Z-Wave
- NFC
- Zigbee
- Wi-Fi/802.11

2. Redes de área extensa de bajo consumo (LPWAN)

Las redes LPWAN permiten la comunicación en un radio mínimo de 500 metros, tienen un consumo de energía mínimo y se usan para la mayoría de los dispositivos IoT.

Los siguientes son algunos ejemplos comunes de redes LPWAN:

- 4G LTE para IoT
- 5G para IoT
- Cat-0
- Cat-1
- LoRaWAN
- LTE Cat-M1
- Sigfox
- Banda estrecha o NB-IoT/CAT-M2

La distancia a la que los datos deben viajar (corta o larga) determina el tipo de conectividad necesaria para un proyecto de IoT.

Capítulo 2

Introducción específica

En este capítulo se presentan las tecnologías utilizadas e incorporadas en este trabajo.

2.1. Servicios en la nube

El cloud computing o servicios en la nube cobra cada vez más relevancia en las empresas debido, principalmente a la ventaja de no tener que hacer grandes inversiones en infraestructuras que mantengan aplicaciones, plataformas o servidores propios.

Los servicios en la nube se clasifican en:

- Infraestructura como Servicio (IaaS)
- Plataforma como Servicio (PaaS)
- Software como Servicio (SaaS)

En la figura 2.1, se puede ver una representación gráfica para diferenciar las capas y su orientación para cada modelo de servicio.

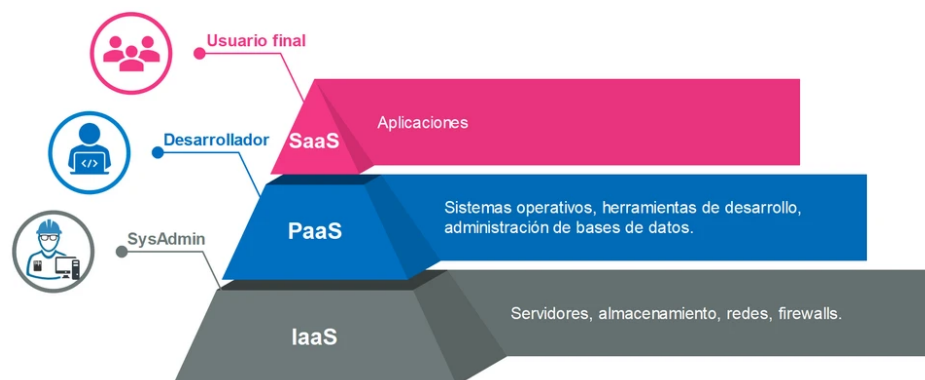


FIGURA 2.1. Tipos de servicio y orientación por rol ¹.

Para detallar el gráfico anterior, se describen los tipos de servicios de computación en la nube:

¹Imagen tomada de <https://openwebinars.net/blog/tipos-de-cloud-computing/>

1. **IaaS** (*Infrastructure as a Service*)

Esta categoría ofrece servicios de infraestructura, entre ellos está la distribución de recursos de computación y almacenamiento cuyos precios varían conforme se realice el consumo. Es decir, se paga lo que se consume. Las empresas que los contratan nunca ven el equipo físico, pero sí pueden tener la experiencia del funcionamiento al momento de usar el servicio deseado.

Ejemplo de IaaS:

- AWS
- Microsoft Azure
- Google Cloud Platform
- OpenStack

2. **PaaS** (*Platform as a Service*):

Este servicio ofrece plataformas de desarrollo sin necesidad de adquirir tecnología con coste muy elevado. El hardware y el software en este modelo es administrado por el proveedor del servicio, además de que los desarrolladores no se preocupan por el rendimiento del hardware ni mucho menos por las actualizaciones del sistema operativo, ya que todo lo realiza el proveedor del servicio .

Ejemplos de PaaS:

- AWS Elastic Beanstalk
- Azure App Service
- Google App Engine
- Red Hat OpenShift
- CloudFountry
- Heroku

3. **SaaS** (*Software as a Service*):

Constituye el modelo más utilizado porque, además de brindar servicio de software, ofrece también el almacenamiento de la información que se genera desde el software. Las ventajas notorias de este modelo son la simplicidad de integración, costo y escalabilidad. Se puede indicar como desventajas la percepción de incidentes de seguridad y el mantener la información alojada en un espacio físico que no sea el de la propia empresa.

Ejemplos de SaaS:

- Microsoft Office 365
- Aplicaciones web de Google
- Servicio de mensajería Slack

En la figura 2.2 se muestran las capas de cada servicio descrito y el acceso que el cliente tiene con cada modelo (capas de color verde).

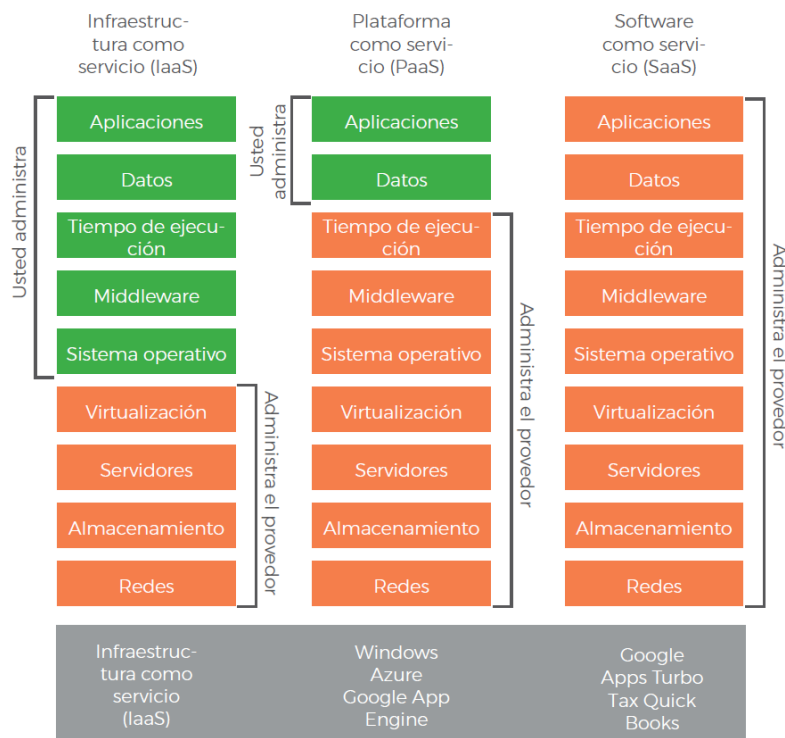


FIGURA 2.2. Infraestructura por capas según el tipo de servicio ².

Para el proyecto se usó el servicio tipo PaaS en la creación y configuración del bróker remoto y para almacenar la aplicación web así como para gestionar la base de datos.

2.2. Protocolo MQTT

■ El bróker MQTT

El servidor o broker es el programa que se encarga de recibir los mensajes enviados por los clientes y distribuirlos entre sí en un sistema publicador-suscriptor. Los clientes mandan periódicamente paquetes y esperan la respuesta del broker, como se ilustra con la figura 2.3.

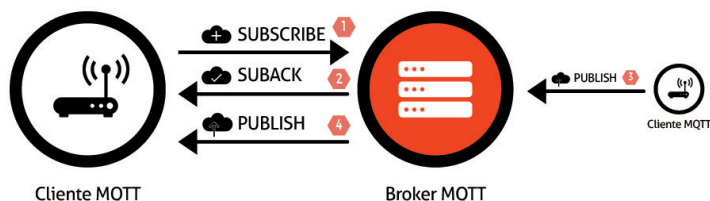


FIGURA 2.3. Funcionamiento del broker Mqtt ³.

²Imagen tomada de <https://profile.es/blog/servicios-cloud-que-es-iaas-saas-y-paas/>

³Imagen tomada de <https://www.factor.mx/portal/base-de-conocimiento/mqtt/>

La comunicación puede estar cifrada mediante TLS y contar con credenciales de acceso para el control de los canales de envío y recepción. Al bróker se le puede conectar un sin fin de dispositivos como teléfonos móviles, computadoras, sensores, actuadores, lámparas, relojes, bombas de agua e, incluso, refrigeradores, cocinas y mucho más.

- El protocolo MQTT

MQTT (*Message Queue Telemetry Transport*) es un protocolo de red ligero de publicación-suscripción que transporta mensajes entre dispositivos. El protocolo generalmente se ejecuta sobre TCP / IP ; sin embargo, cualquier protocolo de red que proporcione conexiones bidireccionales ordenadas y sin pérdidas puede admitir MQTT. Está diseñado para conexiones con ubicaciones remotas donde existen restricciones de recursos o el ancho de banda de la red es limitado. Su modelo de comunicación lo podemos ver en la figura 2.4.

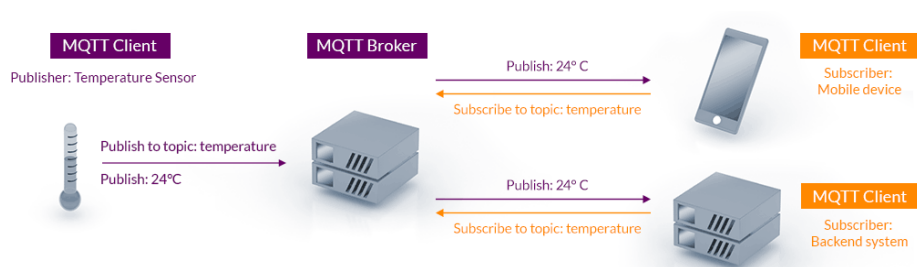


FIGURA 2.4. Ejemplo de funcionamiento del protocolo Mqtt⁴.

Mqtt es un protocolo de mensajería estándar para Internet de las cosas (IoT). Está diseñado como un transporte de mensajería de extremadamente liviano y se utiliza en una amplia variedad de industrias, como la automotriz, la fabricación, las telecomunicaciones, el petróleo y el gas, etc.

2.3. Elementos del bróker MQTT

Antes de construir una red MQTT, es necesario entender los conceptos que se utiliza para crear una red para IoT:

- Cliente: un dispositivo que puede publicar mensajes, suscribirse para recibir mensajes, o ambos.
- Broker: es el servidor que acepta mensajes publicados por clientes y los difunde entre los clientes suscritos.
- Publicar: cuando un cliente envía un mensaje al bróker usando un tópico.
- Tópico: los mensajes deben estar etiquetados con algún tópico o tema. Los clientes se suscriben a tópicos específicos, de manera que solo reciben los mensajes publicados con dichos tópicos.

El bróker MQTT usado en el proyecto es Eclipse Mosquitto, por ser de código abierto.

⁴Imagen tomada de <https://mqtt.org/>

2.4. Eclipse mosquitto

Eclipse Mosquitto es un agente de mensajes de código abierto (con licencia EPL / EDL) que implementa las versiones 5.0, 3.1.1 y 3.1 del protocolo MQTT. Mosquitto es liviano y adecuado para su uso en todos los dispositivos, desde computadoras de placa única de baja potencia hasta servidores completos.

El protocolo MQTT proporciona un método ligero para realizar mensajes mediante un modelo de publicación / suscripción. Esto lo hace adecuado para la mensajería de Internet de las cosas, como con sensores de baja potencia o dispositivos móviles como teléfonos, computadoras integradas o microcontroladores.

Mosquitto es parte de la Fundación Eclipse , es un proyecto de iot.eclipse.org y está patrocinado por cedalo.com.

2.5. Hardware del servidor local

El hardware del módulo principal integra la placa raspberry Pi 4 modelo B de 8 GB como placa base. La Raspberry Pi es una serie de ordenadores de placa reducida, ordenadores de placa única u ordenadores de placa simple (SBC) de bajo costo desarrollado en el Reino Unido por la Raspberry Pi Foundation, con el objetivo de poner en manos de las personas de todo el mundo el poder de la informática y la creación digital.

La placa Raspberry Pi 4 es una pequeña computadora de escritorio de doble pantalla con opciones de salida en 4K, se puede usar para cerebros de robot, centros de hogar inteligente, centros de medios, núcleos de IA (inteligencia artificial) en red, controladores de fábrica y mucho más. La figura 2.5 muestra sus principales especificaciones.

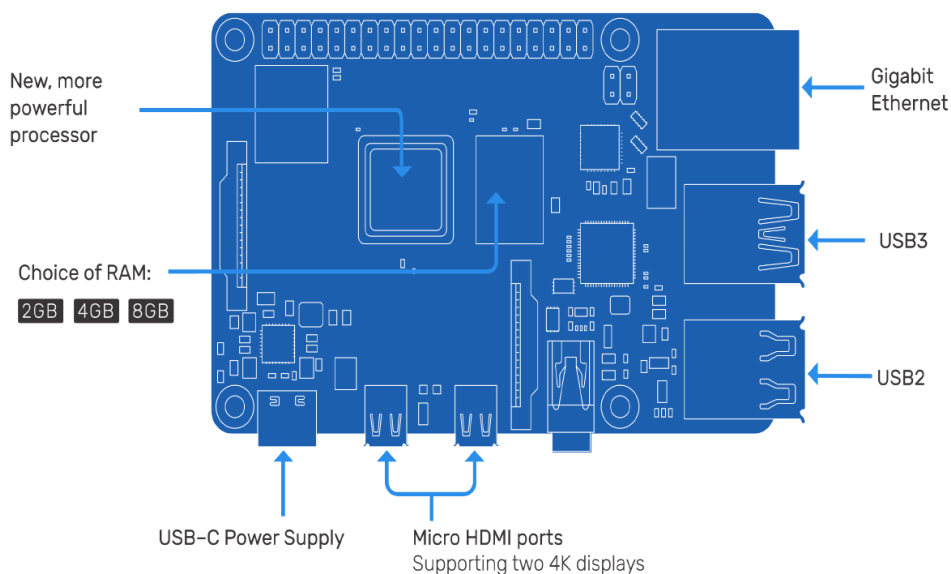


FIGURA 2.5. Especificaciones de Raspberry Pi 4 ⁵.

⁵Imagen de <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-4-model-b/specifications/>

Especificaciones técnicas del Raspberry Pi 4:

- Broadcom BCM2711, SoC de 64 bits Cortex-A72 de cuatro núcleos (ARM v8) a 1,5 GHz
- SDRAM LPDDR4-3200 de 2GB, 4GB u 8GB (según el modelo)
- 2.4 GHz y 5.0 GHz IEEE 802.11ac inalámbrica, Bluetooth 5.0, BLE
- Gigabit Ethernet
- Puertos USB 3.0; 2 puertos USB 2.0.
- Cabecera GPIO estándar Raspberry Pi de 40 pines (totalmente compatible con las placas anteriores)
- Puertos micro-HDMI (hasta 4kp60 compatible)
- Puerto de pantalla MIPI DSI de 2 carriles
- Puerto de cámara MIPI CSI de 2 carriles
- Puerto de video compuesto y audio estéreo de 4 polos
- H.265 (decodificación 4kp60), H264 (decodificación 1080p 60, codificación 1080p 30)
- Ranura para tarjeta micro-SD para cargar el sistema operativo y el almacenamiento de datos
- 5 VCC a través del conector USB-C (mínimo 3 A)
- 5 VCC a través del encabezado GPIO (mínimo 3 A)
- Power over Ethernet (PoE) habilitado (requiere PoE HAT separado)
- Temperatura de funcionamiento: 0 - 50 C° ambiente

2.5.1. Sistema operativo para el servidor local

En la actualidad existen mucha variedad de sistemas operativo para la placa Raspberri Pi, pero para este proyecto se uso el sistema operativo oficial y recomendado por la Raspberry Pi Foundation, llamado “Raspberry Pi OS”.

La web oficial ofrece diversas versiones a las cuales se puede acceder con descarga directa como se ilustra con la figura 2.6.

2.6. Hardware y software utilizados para los módulos

Los componentes principales usados en el desarrollo de cada módulo están formados por una placa base Nodemcu, sensores y actuadores.

2.6.1. Placa Nodemcu ESP8266

La tarjeta NodeMCU es de bajo costo y está basado en el procesador ESP8266, un procesador que está utilizándose mucho para la realización de proyectos IoT, ya que dispone de WiFi integrado. El procesador se programa en Lua, pero también

⁶Imagen tomada de <https://www.raspberrypi.com/software/operating-systems/>

Raspberry Pi OS

Compatible with:

[All Raspberry Pi models](#)



Raspberry Pi OS with desktop and recommended software

Release date: May 7th 2021

Kernel version: 5.10

Size: 2,867MB

[Show SHA256 file integrity hash:](#)

[Release notes](#)

[Download](#)

[Download torrent](#)

Raspberry Pi OS with desktop

Release date: May 7th 2021

Kernel version: 5.10

Size: 1,180MB

[Show SHA256 file integrity hash:](#)

[Release notes](#)

[Download](#)

[Download torrent](#)

Raspberry Pi OS Lite

Release date: May 7th 2021

Kernel version: 5.10

Size: 444MB

[Show SHA256 file integrity hash:](#)

[Release notes](#)

[Download](#)

[Download torrent](#)

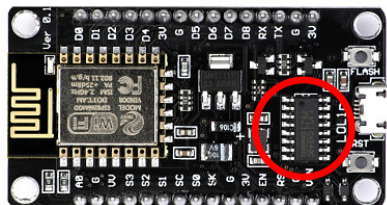
FIGURA 2.6. Versiones del sistema operativo para Raspberry Pi ⁶.

se puede programar con Arduino IDE. Su principal diferencia es que este procesador trabaja a 3.3V. Además, ofrece más ventajas como la incorporación de un regulador de tensión integrado, así como un puerto USB de programación.

En el mercado actual encontramos dos versiones muy usadas de la familia nodemcu y la forma rápida de diferenciar la V2 de la V3, es fijarnos en el convertor serial que monta y en su tamaño. El CP2102 (V2) que es cuadrado, y el CH340G (V3) que es más alargado respectivamente, como se ilustra con la figura 2.7.



NodeMCU c CP2102



NodeMCU c CH340

FIGURA 2.7. Diferencia visual entre los modelos NodeMCU.

Para el proyecto se usó la versión 3 del nodemcu ESP8266.

Especificaciones técnicas del nodemcu:

- Utiliza chip CH340G (USB).
- Tensión de alimentación: 4.5V 9V (10V max) y/o alimentación por USB.
- Tensión de pines I/O: 3.3V.
- Wireless 802.11 b/g/n standard
- WiFi at 2.4GHz, soporta encriptación WPA/WPA2
- Soporta tres modos de operación: STA/AP/STA+AP

- Pila de almacenamiento para protocolo TCP/IP (5 conexiones máximo)
- Pines: D0 D8, SD1 SD3 pueden ser usados como GPIO, PWM, IIC con capacidad de drenar 15mA por pin.
- 1 canal ADC: AD0
- Consumo de corriente continua 70mA (200mA MAX), Standby: <200uA
- Velocidad de transmisión: 110-460800 bps
- Soporta interfaz de comunicación UART/GPIO
- OTA: Remote firmware upgrade
- Soporta Smart Link Smart Networking
- Temperatura de trabajo: -40 °C +125 °C
- Memoria: 4MByte

2.6.2. Sensor de temperatura y humedad DHT11

El DHT11 es un sensor de humedad relativa y temperatura de media precisión a un bajo precio. La salida suministrada es de tipo digital utilizando solamente un pin de datos (no posee salida analógica). Es utilizado en aplicaciones académicas relacionadas al control automático de temperatura, aire acondicionado, monitoreo ambiental en agricultura y más. El sensor se muestra en la figura 2.8.

Utilizar el sensor DHT11 con las plataformas Arduino, Raspberry Pi y Nodemcu es muy sencillo tanto a nivel de software como hardware. A nivel de software se dispone de librerías para Arduino con soporte para el protocolo "Single bus". En cuanto al hardware, solo es necesario conectar el pin VCC de alimentación a 3V - 5V, el pin GND a Tierra y el pin de datos a un pin digital de Arduino.

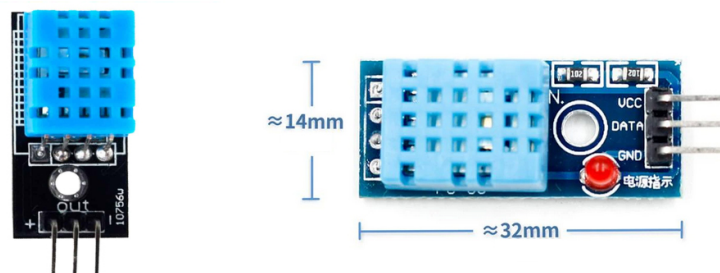


FIGURA 2.8. Modelo y dimensiones del sensor DHT11.

Especificaciones técnicas del sensor:

- Voltaje de Operación: 3V - 5V DC
- Rango de medición de temperatura: 0 a 50 °C
- Precisión de medición de temperatura: ± 2.0 °C
- Resolución Temperatura: 0.1°C
- Rango de medición de humedad: 20 % a 90 % RH.

- Precisión de medición de humedad: 5 % RH.
- Resolución Humedad: 1 % RH
- Tiempo de sensado: 1 seg.
- Interface digital: Single-bus.
- Modelo: DHT11
- Peso: 1 gr.
- Carcasa de plástico celeste

2.6.3. Sensor de Corriente AC SCT-013-030

La familia SCT-013 son sensores de corrientes no invasivos que permiten medir la intensidad que atraviesa un conductor sin necesidad de cortar o modificar el conductor. Podemos emplear estos sensores con un procesador como Arduino para medir la intensidad o potencia consumida por una carga. Los sensores SCT-013 son transformadores de corriente, dispositivos de instrumentación que proporcionan una medición proporcional a la intensidad que atraviesa un circuito. La medición se realiza por inducción electromagnética.

Los sensores SCT-013 disponen de un núcleo ferromagnético partido (como una pinza) que permite abrirlo para arrollar un conductor de una instalación eléctrica sin necesidad de cortarlo, como se ilustra con la figura 2.9. Dentro de la familia SCT-013 existen modelos que proporcionan la medición como una salida de intensidad o de tensión. Se recomienda usar sensores de salida por tensión porque la conexión es más sencilla.

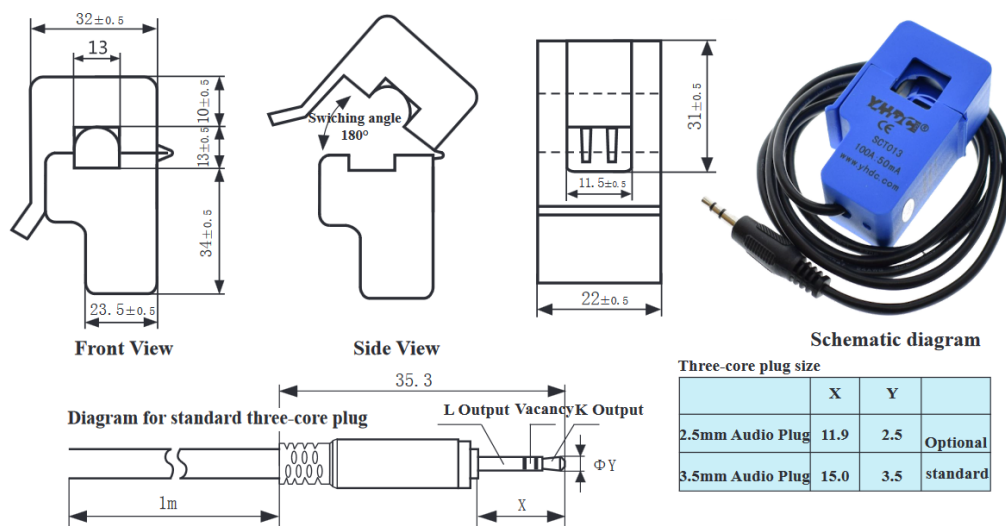


FIGURA 2.9. Modelo y dimensiones del sensor SCT-013-030 AC ⁷.

El sensor sct-013 es muy fácil de manejar y acoplar. Puede colocarse como una pinza alrededor de un cable que entre al edificio sin la necesidad de realizar algún

⁷Imagen de <https://datasheetspdf.com/pdf-file/1004704/XiDiTechnology/SCT-013-030/1>

trabajo de alto voltaje, adecuado para la medición de corriente AC, monitoreo y protección de motores AC, equipo de iluminación, etc.

Especificaciones técnicas del sensor de corriente:

- Corriente de entrada (inducción): 0-30A AC
- Modo de salida: 0-1V
- No linealidad: ± 1
- Resistencia (RL): 62Ω
- Grado de Resistencia: Grade B
- Temperatura de operación: -25°C 70°C
- Longitud del cable: 1m
- Tamaño abierto: 13mm x 13mm

Para el proyecto se consideró el módulo SCT-013 de 30A y con soporte para 250VAC.

2.6.4. Relé Actuador

Un relé es un interruptor que podemos activar mediante una señal eléctrica. En su versión más simple es un pequeño electro-imán que cuando lo excitamos mueve la posición de un contacto eléctrico de conectado a desconectado o viceversa. Un relé es un interruptor, que utiliza una pequeña corriente para accionar un circuito mayor. Básicamente, se aplica una señal en la entrada que enciende otro circuito conectado en la salida, sin necesidad de supervisión humana.

Los relés más usados son módulos que son capaces de activarse mediante la entrada de 5v. La capacidad de elegir el módulo relé adecuado para nuestro proyecto dependerá del voltaje y amperaje que debe gestionar el relé. En la figura 2.10 se aprecia dos modelos de módulos relé con capacidad de activación 5V y con soporte para 10A - 250VAC y 30A - 250VAC respectivamente.

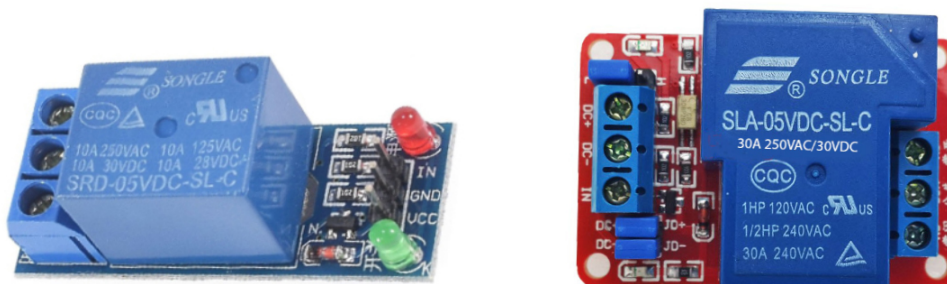


FIGURA 2.10. Modelos de relés con activación de 5V.

Podemos decir que el relé es un interruptor nos permite trabajar con dos circuitos, uno con voltajes elevados, por ejemplo, 220V pero que es activado por un circuito de voltaje inferior, por ejemplo, 5V.

Para el proyecto se consideró el módulo relé de activación 5V y con soporte para 30A - 250VAC.

2.6.5. Lenguajes de programación

La elaboración de este trabajo involucró el uso de distintos softwares como herramientas para facilitar el desarrollo, así como el uso de diversos lenguajes de programación y se describen a continuación:

- Python: es un lenguaje de programación interpretado cuya filosofía hace hincapié en la legibilidad de su código. Se trata de un lenguaje de programación multiparadigma, ya que soporta parcialmente la orientación a objetos, programación imperativa y, en menor medida, programación funcional.

Se usó para la creación de procesos internos en el módulo principal

- Php: es un lenguaje de programación de uso general que se adapta especialmente al desarrollo web del lado backend.

Se usó como lenguaje backend del software de monitoreo y control.

- JavaScript: lenguaje de programación interpretado utilizado en el lado del cliente, es el único lenguaje de programación que funciona en los navegadores de forma nativa (lenguaje interpretado sin necesidad de compilación).

Se usó como lenguaje frontend del software de monitoreo y control.

- Arduino: lenguaje de programación que está basado en C++.

Se usó como lenguaje para programar el firmware de los módulos de sensores y actuadores.

Capítulo 3

Diseño e implementación

3.1. Análisis del software

```
1 #define MAX_SENSOR_NUMBER 3
2 #define MAX_ALARM_NUMBER 6
3 #define MAX_ACTUATOR_NUMBER 6
4
5 ...
```

CÓDIGO 3.1. Pseudocódigo del lazo principal de control.

Capítulo 4

Ensayos y resultados

4.1. Pruebas funcionales del hardware

.....

Capítulo 5

Conclusiones

5.1. Conclusiones generales

La idea de esta sección es resaltar cuáles son los principales aportes del trabajo realizado y

5.2. Próximos pasos