



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS
RENOVABLES



**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO
PARA UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA CONECTADA A
LA RED DE 3.7 KW CON CONVERTORES CC/CC UTILIZANDO
HERRAMIENTAS IOT Y COMPUTACIÓN EN LA NUBE”**

Jose Felipe Supo Halanoca

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO EN ENERGÍAS
RENOVABLES**

Asesora:

Dra. Vilma Sarmiento Mamani



JULIACA - 2022



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS
RENOVABLES



**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO
PARA UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA CONECTADA A
LA RED DE 3.7 KW CON CONVERTORES CC/CC UTILIZANDO
HERRAMIENTAS IOT Y COMPUTACIÓN EN LA NUBE”**

Jose Felipe Supo Halanoca

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO EN ENERGÍAS
RENOVABLES**

Asesora:

Dra. Vilma Sarmiento Mamani



JULIACA - 2022

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS
RENOVABLES



**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
MONITOREO PARA UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA
CONECTADA A LA RED DE 3.7 KW CON CONVERTORES CC/CC
UTILIZANDO HERRAMIENTAS IOT Y COMPUTACIÓN EN LA
NUBE”**

Jose Felipe Supo Halanoca

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO EN ENERGÍAS
RENOVABLES

Asesora: Dra. Vilma Sarmiento Mamani

Juliaca - 2022

Ficha catalográfica

Supo, J. F. (2022). *Diseño e implementación de un sistema de monitoreo para una instalación fotovoltaica conectada a la red de 3.7 kW con convertidores CC/CC utilizando herramientas IoT y computación en la nube.* (Tesis de Ingeniería). Universidad Nacional de Juliaca, Juliaca.

AUTOR: Jose Felipe Supo Halanoca

TÍTULO: Diseño e implementación de un sistema de monitoreo para una instalación fotovoltaica conectada a la red de 3.7 kW con convertidores CC/CC utilizando herramientas IoT y computación en la nube.

PUBLICACIÓN: Juliaca, 2022

DESCRIPCIÓN: Cantidad de páginas (103 pp)

NOTA: Tesis de la Escuela profesional de Ingeniería en Energías Renovables — Universidad Nacional de Juliaca.

CÓDIGO: 02-00009-02/S94

NOTA: Incluye bibliografía.

ASESOR: Dra. Vilma Sarmiento Mamani

PALABRAS CLAVE:

Azure IoT Central, fotovoltaica, industria 4.0, internet de las cosas, monitoreo en tiempo real, Node-RED

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO PARA
UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA CONECTADA A LA RED DE 3.7 KW
CON CONVERTORES CC/CC UTILIZANDO HERRAMIENTAS IOT Y
COMPUTACIÓN EN LA NUBE”

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO EN ENERGÍAS
RENOVABLES

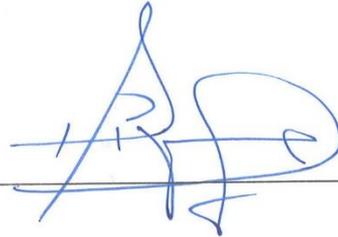
Presentada por:

Jose Felipe Supo Halanoca

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Dr. Henry Pizarro Viveros

PRESIDENTE DE JURADO



M.Sc. Jhon Eduardo Abarca Suca

JURADO (secretario)



Dr. Ubaldo Yancachajlla Tito

JURADO (Vocal)





ASESOR DE TESIS

Dra. Vilma Sarmiento Mamani

DEDICATORIA:

Este trabajo se lo dedico a mi madre Elsa que con su cariño y ejemplo supo inculcarme la disciplina, perseverancia, bondad y resiliencia en momentos difíciles, a mi padre José que con su ejemplo y severidad me inculco el orden, la limpieza, el trabajo duro y la lealtad.

*A mis hermanas Maribel, Anali, Yoely y Hadit por enseñarme, apoyarme y creer en mí.
A mis abuelitos Manuel y Eustaquia que supieron apoyarme y comprenderme en momentos difíciles.*

AGRADECIMIENTO

Este trabajo de tesis es gracias al aprovechamiento de la infraestructura física del Proyecto CONCYTEC-FONDECYT en el marco de la convocatoria E041-01, contrato N° 180-2018-FONDECYT-BM-IADT-AV.

Un agradecimiento especial al Dr Norman Jesús Beltrán Castañón, por el desafío propuesto, su tiempo y los consejos.

Al Msc. Jose Manuel Ramos Cutipa, por sus consejos, su tiempo y por mostrarme el camino en el desarrollo de este trabajo

A mi asesora Dra. Vilma Sarmiento Mamani por sus consejos, su tiempo y contribuciones a este trabajo.

A Alexandra Elbakyan fundadora de Sci-Hub, por brindar un repositorio gratuito de artículos científicos, gracias a ella tenemos acceso a muchos artículos científicos.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xv
LISTA DE SIGLAS Y SIMBOLOS.....	xvi
RESUMEN	xvii
ABSTRACT	xviii
INTRODUCCIÓN.....	19
CAPÍTULO I.....	21
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	21
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	21
1.1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA GENERAL.....	22
1.1.2 FORMULACIÓN DE LOS PROBLEMAS ESPECÍFICOS	22
1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	22
1.2.1 OBJETIVO GENERAL	22
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	22
1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	23
CAPÍTULO II.....	24
REVISIÓN DE LITERATURA	24
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	24
2.2 EL SOL	25
2.3 LUZ.....	26
2.4 RADIACIÓN SOLAR.....	26
2.5 COMPONENTES DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA	27
2.6 MONITOREO DE PARÁMETROS	28
2.7 NORMATIVA DE LA MONITORIZACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	29

2.8	PRINCIPALES INSTRUMENTOS UTILIZADOS EN EL SISTEMA DE MONITOREO FOTOVOLTAICO.....	31
2.9	DESAFÍOS DEL MONITOREO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	31
2.10	INDUSTRIA 4.0	33
2.11	INTERNET DE LAS COSAS	33
2.11.1	REDES INALÁMBRICAS.....	34
2.11.2	PROTOCOLOS.....	35
2.11.3	PUERTA DE ENLACE.....	36
2.12	CAPAS DE ARQUITECTURA	36
2.13	PLATAFORMAS IOT.....	37
2.13.1	IBM WATSON IOT PLATFORM	39
2.13.2	AWS IOT	41
2.13.3	AZURE IOT HUB	46
2.13.4	AZURE IOT CENTRAL.....	47
2.13.5	CLOUD IOT CORE	49
2.13.6	UBIDOTS	51
2.13.7	KAA IOT	52
2.13.8	ARDUINO IOT CLOUD	54
2.13.9	THINGSPEAK	54
2.14	AZURE BLOB STORAGE	55
2.15	AZURE SQL DATABASE	56
2.16	REALVNC.....	56
2.17	LOGO! SOFT COMFORT	57
2.18	NODE-RED	57
	CAPÍTULO III	58
	MATERIALES Y MÉTODOS	58
3.1	FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	58

3.1.1	HIPÓTESIS GENERAL	58
3.1.2	HIPÓTESIS ESPECIFICA	58
3.2	POBLACIÓN.....	58
3.3	MUESTRA	58
3.3	PROCEDIMIENTO.....	58
3.4	MATERIALES	59
3.4.1	PLACA DE MICROCONTROLADOR.....	59
3.4.2	POTENCIÓMETRO.....	59
3.4.3	COMPUTADORA PORTÁTIL	59
3.4.4	DAQ HARDWARE.....	59
3.4.5	MÓDULO DE EXPANSIÓN.....	60
3.4.6	SENSOR DE TEMPERATURA	60
3.4.7	HARDWARE PARA IOT	60
3.5	METODOLOGÍA	62
3.5.1	METODOLOGÍA PARA LA COMPARACIÓN DE DIFERENTES SERVICIOS EN LA NUBE.....	62
3.5.2	METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA PARA LA EXPORTACIÓN DE DATOS A LA NUBE	64
3.5.3	METODOLOGÍA PARA EVALUAR LA FUNCIONALIDAD DEL SISTEMA PROPUESTO.....	68
CAPÍTULO IV.....		69
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		69
4.1	COMPARACIÓN DE LAS PLATAFORMAS Y SERVICIOS EN LA NUBE..	69
4.2	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA CONECTADA A LA RED	70
4.2.1	HARDWARE	70
4.2.2	CONEXIÓN DEL LOGO! 8.3 CON EL RASPBERRY PI 4.....	71

4.2.3	MONITOREO DEL RENDIMIENTO DEL DISPOSITIVO RASPBERRY PI 4	71
4.2.4	ENVIÓ DE DATOS A IOT CENTRAL	71
4.2.5	EXPORTACIÓN DE DATOS A AZURE BLOB STORAGE	76
4.2.6	PROCESAMIENTO DE DATOS EN POWER BI	77
4.2.7	ALMACENAMIENTO DE DATOS EN AZURE SQL DATABASE	82
4.3	EVALUACIÓN DE LA FUNCIONALIDAD DEL SISTEMA DE MONITOREO PROPUESTO	85
CAPÍTULO V		89
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		89
5.1	CONCLUSIONES	89
5.2	RECOMENDACIONES	91
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS		92
ANEXOS		96

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros medidos en una instalación fotovoltaica.....	28
Tabla 2. Ventajas y desventajas de las soluciones IoT en la industria	37
Tabla 3. Detalle de costos de la solución propuesta	68
Tabla 4. Evaluación de los principales servicios IoT	69
Tabla 5 Contribuciones del Node-RED/ IoT Central identificadas.....	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Magnitudes medibles de los sistemas fotovoltaicos.....	30
Figura 2. Arquitectura de la conexión de un dispositivo a Watson IoT Platform.	40
Figura 3. Interrelación de los diferentes servicios IBM cloud que componen la solución Watson IoT Platform	41
Figura 4. Servicios que componen la solución AWS IoT	43
Figura 5. Conexión de los Servicios que componen AWS IoT Core y los servicios AWS	44
Figura 6. Arquitectura recomendada para aplicaciones IoT que usa componentes PaaS (Platform-as-a-Service)	47
Figura 7. Arquitectura de una solución IoT Central	48
Figura 8. Arquitectura de los componentes de la aplicación de paneles solares	49
Figura 9. Integración de Azure IoT Central con otros servicios	49
Figura 10. Integración de los servicios de Google Cloud con la solución Cloud IoT Core	51
Figura 11. Jerarquía de datos de Ubidots	51
Figura 12. Arquitectura de las conexiones de dispositivos y análisis de datos	55
Figura 13. Relación entre recursos de Blob Storage	56
Figura 14. Componentes del Raspberry Pi 4 modelo B usado en el sistema de monitoreo de la instalación fotovoltaica.....	61
Figura 15. Localización de la instalación fotovoltaica conectada a la red desde Google Earth	65
Figura 16. Celda fotovoltaica calibrada para medir la radiación solar incidente en el SFCR.	66
Figura 17. Sensor de temperatura PT100 adherido a la parte posterior del panel fotovoltaico del SFCR.....	66
Figura 18. Diagrama de procesamiento de datos en el Logo Soft Comfort	67
Figura 19. Flujo de trabajo en Node-RED.....	72
Figura 20. Conexión de Node-RED con Azure IoT Central	72
Figura 21. Panel de control del sistema de monitoreo en Azure IoT Central.....	73
Figura 22. Servicio de Almacén de datos Azure Blob Storage alojado en la nube	77
Figura 23. Aplicación para escritorio de Azure Blob Storage.....	77
Figura 24. Programación del archivo batch.....	78
Figura 25. Análisis de datos en Power BI	78
Figura 26. Análisis grafico en Power BI de la potencia e irradiancia	80

Figura 27. Análisis grafico en Power BI de la potencia y energía	80
Figura 28. Análisis grafico en Power BI de la irradiancia y la corriente	81
Figura 29. Análisis grafico en Power BI de la temperatura y el voltaje.....	81
Figura 30. Generación del parámetro energía a partir de la potencia y el tiempo en Power BI	82
Figura 31. Servicio en la nube Azure SQL Database	83
Figura 32. Almacenamiento de datos relacionales desde la aplicación para escritorio de Azure SQL Database	83
Figura 33. Arquitectura de la conexión de los dispositivos físicos y servicios virtuales del sistema de monitoreo	84

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Sistema fotovoltaico conectado a la red con convertidores de CC/CC	96
Anexo 2. Sistema de adquisición de datos del SFCR.....	97
Anexo 3. Sistema de refrigeración incorporado al Raspberry Pi 4	98
Anexo 4. Sistema de adquisición de datos integrado al Raspberry Pi 4.....	99
Anexo 5. Acondicionamiento de los datos en Node-RED para su envío a IoT Central....	100
Anexo 6. Flujo de nodos desarrollados en Node-RED para la conexión con el PLC, transformación de datos y envío a IoT Central.....	101

LISTA DE SIGLAS Y SIMBOLOS

API	Application Programming Interfaces
CPU	Central Processing Unit
CSI	Camera Serial Interface
DAQ	Data Acquisition
DSI	Display Serial Interface
GPIO	General Purpose Input/Output
GPU	Graphics Processing Unit
HDMI	High Definition Multimedia Interface
IAM	Identity and Access Management
IDE	Integrated Development Environment
IEC	International Electrotechnical Commission
IEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IoT	Internet of Things
IP	Internet Protocol
ML	Machine Learning
MIPI	Mobile Industry Processor Interface
M2M	Machine to Machine
OASIS	Organization for the Advancement of Structured Information Standards
PLC	Programmable Logic Controller
PWM	Pulse Width Modulation
RAM	Random Access Memory
RTD	Resistance Temperature Detector
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
SDK	Software Development Kits
SQL	Structured Query Language
TCP	Transmission Control Protocol
UDP	User datagram protocol
USB	Universal Serial Bus
VNC	Virtual Network Computing

RESUMEN

En la presente investigación se diseña e implementa el monitoreo de un sistema fotovoltaico conectado a la red (SFCR) con convertidores de corriente continua CC/CC de 3.7kW de potencia instalada basado en una solución IoT y servicios en la nube, el sistema de monitorización se implementa en una instalación real localizada en el Instituto de Energías Renovables y Eficiencia Energética de la Universidad Nacional de Juliaca sede Ayabacas. Para lo consecución de este objetivo se evalúan diferentes plataformas IoT y servicios en la nube que nos permitan superar los desafíos de monitorización en instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red. El sistema de monitorización integra dispositivos industriales como sensores de temperatura, convertidores de voltaje y corriente, módulos de expansión y una celda calibrada, todos ellos centralizan los datos en el LOGO! 8.3, este PLC se conecta al Gateway IoT Node-RED que está alojado en un Raspberry Pi 4 el que esta encendido las 24 horas del día y 7 días de la semana, Node-RED es un software de código abierto que modifica los datos y se conecta a Azure IoT Central, esta aplicación alojada en la nube tiene una capa gratuita que brinda el envío de mensajes y conexión de dispositivos en cantidades limitadas sin costo alguno, servicio que se aprovecha, IoT Central permite la monitorización en tiempo real, análisis y exportación de datos a otros servicios en la nube de Azure, por lo que lo datos se guardan indefinidamente en Azure Blob Storage que también cuenta con una capa gratuita, que aunque se supere esta capa el costo es mínimo. La solución propuesta Node-RED/IoT supera los desafíos de monitorización de una instalación fotovoltaica como la Interoperabilidad, gestión, seguridad, procesamiento, escalabilidad y costo.

Palabras claves: Azure IoT Central, fotovoltaica, industria 4.0, internet de las cosas, monitoreo en tiempo real, Node-RED

ABSTRACT

In the present investigation, the monitoring of a photovoltaic system connected to the network (SFCR) with DC/DC direct current converters of 3.7kW of installed power based on an IoT solution and cloud services is designed and implemented, the system of Monitoring is implemented in a real installation located in the Institute of Renewable Energies and Energy Efficiency of the National University of Juliaca, Ayabacas headquarters. To achieve this objective, different IoT platforms and cloud services will be evaluated that will not overcome the monitoring obstacles in photovoltaic installations connected to the network. The monitoring system integrates industrial devices such as temperature sensors, current and voltage converters, expansion modules and a calibrated cell, all of which centralize the data in LOGO! 8.3, this PLC connects to the Node-RED IoT Gateway which is hosted on a Raspberry Pi 4 which is on 24/7, Node-RED is open source software that modifies data and connects to Azure IoT Central, this cloud-hosted application has a free capability that provides messaging and device connection in limited numbers at no cost, service leveraged, IoT Central enables real-time monitoring, analytics, and data export to other services in the Azure cloud, so the data is stored indefinitely in Azure Blob Storage, which also has a free tier, even if this tier is exceeded the cost is minimal. The proposed Node-RED/IoT solution overcomes the monitoring challenges of a photovoltaic installation such as Interoperability, management, security, processing, scalability and cost.

Keywords: Azure IoT Central, Industry 4.0, internet of things, Node-RED, photovoltaics, real-time monitoring

INTRODUCCIÓN

El acceso a la energía es una de las bases para el desarrollo de un país, esta energía muchas veces es un combustible fósil que se importa y el precio varía según al contexto político-social a nivel mundial, estas subidas de precio del petróleo y el gas impulsan el desarrollo de las energías renovables como fuentes alternativas que buscan contrarrestar esa dependencia energética, además de contribuir en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

Las energías renovables de mayor crecimiento son las energías solar y eólica, existiendo un gran potencial para el desarrollo de la energía solar fotovoltaica por su fácil instalación y mantenimiento al no contar con partes móviles que requieran ser mantenidas. Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red (SFCR) son las más prometedoras para la producción de electricidad de origen solar; el SFCR sistema está compuesto por un generador fotovoltaico y un inversor que convierte la corriente continua en corriente alterna con características de la red eléctrica, además de los elementos de protección y medida (Aguilar et al., 2010).

Los sistemas de monitoreo fotovoltaico tienen como objetivo proporcionar y reportar información sobre el potencial de energía, la energía extraída, el análisis de temperatura de funcionamiento si ocurren fallas y la pérdida de energía asociada a estas fallas, además los datos que se monitorean también se pueden usar para la detección y prevención (Madeti & Singh, 2017).

Convencionalmente las instalaciones fotovoltaicas son monitorizadas con un sistema de control y adquisición de datos (SCADA), los que deben enfrentar múltiples retos a medida que las instalaciones fotovoltaicas van escalando y se van desarrollando nuevas tecnologías. La Industria 4.0 es un paradigma emergente respaldado por múltiples Tecnologías Habilitadoras Clave (KET), como robótica avanzada, impresión 3D, Big Data Analytics o Internet de las cosas, que brinda nuevas oportunidades para que los sistemas SCADA se redefinan a un modelo de industria más adaptable, siendo las tecnologías de IoT las más prometedoras que hacen posible la comunicación de los componentes de una planta con el consumidor de dicho componente (ya sea que el consumidor sea un ser humano, una máquina, un software empresarial o un servicio asignado en la nube) de forma estructurada y segura.(de Arquer et al., 2021).

El desarrollo de este trabajo de investigación permite conocer las ventajas y desventajas que presenta esta nueva tecnología aplicada a la monitorización de instalaciones fotovoltaicas, solución que sirve como base para nuevas investigaciones y desarrollos tecnológicos, además repercute en la sociedad trayendo consigo un ahorro económico por lo bajos costos en comparación a un sistema monitorización tradicional. Para la implementación de la monitorización del SFCR en base a una solución IoT y servicios en la nube, nos planteamos el siguiente objetivo general: Diseñar e implementar un sistema de monitoreo, procesamiento y análisis de datos para una instalación fotovoltaica conectada a la red de 3 kW con convertidores CC/CC utilizando herramientas IoT y computación de la nube. Para la consecución del objetivo general nos planteamos los siguientes objetivos específicos: Evaluar diferentes plataformas virtuales en la nube que ofrecen servicios de sistematización de gran cantidad de datos, que puedan ser aplicados a un generador fotovoltaico conectado a la red; diseñar un sistema para la exportación de datos del generador fotovoltaicos a la nube; comprobar la funcionalidad del sistema propuesto según los requerimientos de monitorización de un sistema fotovoltaico.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Desde el origen de la humanidad, el uso de la energía fue un factor importante para el desarrollo tecnológico, social y económico; a lo largo de la historia se explotaron diferentes fuentes de energía, predominando el uso de energías no renovables como la energía nuclear y los combustibles fósiles. Fernández (2010) refiere que son principalmente el petróleo y sus derivados (gasolinas, diésel, etc.), el gas natural y el carbón mineral. El consumo masivo de estos combustibles fósiles o hidrocarburos ya sea en centrales de generación energética o directamente, fue trayendo consecuencias medioambientales como el calentamiento global, y otros, las energías renovables que comprenden energía Eólica, Hidráulica Biomasa, Geotérmica, solar, etc. son otra alternativa de generación y aprovechamiento energético que se puede explotar casi ilimitadamente y reduciendo la contaminación ambiental, siendo el Sol la principal fuente de energía. La Tierra recibe esta energía en forma de radiación la cual es retenida por la atmosfera y permitiendo así la existencia de la vida (Méndez, Cuervo y Veritas, 2009).

La radiación solar medida en un lugar depende principalmente de factores astronómicos: la declinación y distancia del sol, factores geográficos: la latitud, longitud, altitud y orografía, factores meteorológicos: definidos principalmente por el estado del cielo, despejado o nublado (Vera, García y Hernández, 2007). Estos datos medidos en diferentes estaciones de medición de la radiación solar en el mundo se han ido procesando y guardando en forma física inicialmente y luego con el avance de la tecnología en medios digitales.

Al instalar un sistema de medición para generadores fotovoltaicos, en la mayoría de los casos es necesario monitorear y obtener datos relevantes en tiempo real, con una frecuencia de medición alta, dependiendo de esta frecuencia de medición la información obtenida puede convertirse en inmanejable, dependiendo de la capacidad de almacenamiento y velocidad de procesamiento que se tenga en el equipamiento dedicado para tal fin, generalmente usando el ordenador. Si bien es cierto que muchos de los equipos utilizados en estos generadores fotovoltaicos poseen en la actualidad funciones de monitoreo y manejo de información, estas funciones son limitadas a unos cuantos parámetros eléctricos, generalmente medidos en la producción energética de C.A., sumado a esto se tiene considerar que las funciones ofrecidas

de estos equipos no son compatibles con otras marcas de equipamiento similar, haciendo difícil su integración en términos de medición, por lo que se hace necesario tener una plataforma de manejo de información utilizando herramientas computacionales que logren la integración de diferentes equipamientos de los sistema de generación fotovoltaica, que pueda procesar en tiempo real una gran cantidad de información de parámetros eléctricos tanto de corriente continua como alterna, así como también parámetros ambientales.

1.1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA GENERAL

¿Cómo monitorear el sistema fotovoltaico conectado a la red de 3.7kW con convertidores de CC/CC utilizando tecnología IoT y computación en la nube?

1.1.2 FORMULACIÓN DE LOS PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿Cuál de las plataformas y servicios en la nube ofrecen los servicios más adecuados para el procesamiento y análisis de datos de sistemas fotovoltaicos?
- ¿Cómo implementar un sistema de monitoreo en la nube para una instalación fotovoltaica?
- ¿De qué manera se comprueba la funcionalidad del sistema diseñado para la exportación de datos a la nube?

1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar un sistema de monitoreo, procesamiento y análisis de datos para una instalación fotovoltaica conectada a la red de 3.7 kW con convertidores CC/CC basado en tecnología IoT y computación en la nube.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comparar diferentes plataformas y servicios IoT que permitan el procesamiento y análisis de datos para aplicar a la monitorización de sistemas fotovoltaicos.
- Diseñar e implementar un sistema de monitoreo, procesamiento y análisis de datos para una instalación fotovoltaica basado en tecnología IoT, servicios virtuales y computación en la nube.

- Evaluar la funcionalidad del sistema de monitoreo propuesto según los requerimientos de monitorización de un sistema fotovoltaico.

1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Los sistemas fotovoltaicos recolectan gran cantidad de información mediante sus sensores que son necesarios para el monitoreo y prevención de posibles fallas, estos datos recolectados tradicionalmente se registran y almacenan en un entorno local el cual tiene limitaciones en tiempo y espacio, la cuarta revolución industrial o industria 4.0 nos ofrece la posibilidad de conectar estos sensores a la nube de la internet mediante dispositivos embebidos permitiéndonos acceder en tiempo casi real a los datos que se van registrando y almacenando, ofreciéndonos mayor accesibilidad ya que es posible monitorear el funcionamiento del sistema fotovoltaico y realizar análisis de los datos así como predicciones desde cualquier dispositivo conectado a la internet, esto trae consigo la eficiencia energética y como consecuencia el ahorro económico ya que una prevención oportuna evitara el gastos innecesarios por equipos o accesorios en mal funcionamiento o dañados.

Esta investigación nos da un análisis de las principales plataformas existentes en el mercado, así como la plataforma que nos permite conectar estos dispositivos a la nube de forma segura, confiable y sencilla, de acuerdo a los requerimientos de los sistemas fotovoltaicos, posibilitando futuras investigaciones y la implementación inmediata en cualquier sistema fotovoltaico.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Según de Arquer, Fernández, Carús & Arboleya (2021), quienes propusieron una solución IoT para la monitorización de plantas fotovoltaicas basadas en el software Open Source; implementándose y desplegándose en una planta real de aproximadamente 3 MW con un total de 24 inversores y 156 cajas de cadenas, el inconveniente que los autores indican es que el modelo SCADA no pueda adaptarse lo suficientemente rápido a los requisitos en múltiples áreas industriales, lo que resulta en una complejidad excesiva de la red industrial y la interacción entre múltiples sistemas verticales; proponiendo como solución el uso de una plataforma IoT de código abierto, para la cual utilizaron el software Eclipse Kura desarrollado bajo una licencia de código abierto (OS), plataforma IoT Kapua, se utilizó una PC Moxa UC-2112 con Kura instalado como IoT Gateway. El dispositivo se conectó directamente con los módulos de comunicación de strings y los inversores, también se implementó una instancia de Kapua que se configuró para permitir una conexión segura desde los clientes de Kura mediante el protocolo MQTT utilizando certificados SSL administrados por el entorno de Kura. El dispositivo conectado se configuró para leer los datos de los dispositivos industriales periódicamente y enviar los datos al servidor Kapua. Los autores hacen una comparación detallada entre la solución de IoT propuesta y los sistemas de monitoreo basados en SCADA convencionales, describiendo todos los beneficios y desventajas de los SCADA convencionales y los sistemas de IoT modernos y proponiendo soluciones para superar los puntos débiles identificados del IoT.

Larrañaga (2016), quien realiza un estudio titulado IoT con IBM y NI se centra en crear una solución IoT integrando dispositivos de National Instruments con software de IBM. Para ello utiliza los hardwares NI COMPACTRIO 9033, NI DSA DEMO BOX y NI MyRIO utilizando la plataforma IBM WATSON IOT PLATFORM, desarrolla una aplicación web para explotar los datos en el entorno Eclipse C & C++ Development Tools for NI Linux Real-Time 2014, LabVIEW y IBM Bluemix, implemento esta aplicación con diversas alertas para informar al usuario sobre el estado de los dispositivos, realiza un ejemplo de aplicación web para la monitorización de una planta eólica, además modela la conexión de dispositivos a la plataforma IoT de IBM para facilitar la conexión de más dispositivos en el futuro y hace un análisis predictivo del comportamiento de los ventiladores.

Manotas y Martinez (2018), quienes exploraron las diversas plataformas IoT en el mercado conectando finalmente como caso de estudio dispositivos IoT creados en la facultad de ingeniería y ciencias básicas de la institución universitaria politécnico grancolombiano, describiendo las plataformas Microsoft azure IoT hub, Thinger.io, Carriots, Kaa IoT, Macchina.io, Thingspeak, Ubidots, MyDevices, InitialState, IBM Watson IoT, AWS IoT, Google Cloud IoT, ThingWorx y GE Predix, las que se dividieron en tres grupos: nivel alto, Open source y DIY usando placas, comparándolas según los criterios de: open source, visualización rápida de datos, escalabilidad, análisis, administración de base datos, seguridad, quedando como finalistas de cada grupo Microsoft azure, Kaa y Thinger.io, explorando a detalle cada una de ellas finalmente eligieron a thinger.io porque permite instalar la plataforma en un servidor propio, flexibilidad de configuración y servicio gratuito.

El servicio IoT es ofrecido por las grandes empresas tecnológicas así como por muchas otras empresas en el mundo, todas estas compañías ofrecen una diversidad de herramientas, servicios y plataformas que se integran con sus plataformas IoT o servicios que vienen incluidas en su misma plataforma, además usan un lenguaje distinto cada uno para ofrecer sus servicios por lo que es difícil compararlos, la mayoría de estas empresas ofrecen un servicio de prueba gratuito por tiempo limitado y también existen plataformas de código abierto que abaratan los costos al ser utilizados. La monitorización utilizando el internet de las cosas es viable, ayudando a superar diversos desafíos que enfrenta la monitorización, esta tecnología se puede adaptar para hacer simulaciones de instalaciones eólicas, así como al monitoreo de plantas fotovoltaicas reales que producen energía en megavatios.

2.2 EL SOL

En la mayoría de las grandes culturas el Sol era uno de los dioses principales ya que era considerado el dador de vida, sin el sol la vida en este planeta no sería posible, para los antiguos griegos el sol era denominado como el Dios Helios, para los romanos como el Dios Apolo (Roldán, 2010). Para los egipcios el Dios Amun-Amun Ra y para los Incas el Dios Inti.

El Sol es una estrella que se ubica en el centro del Sistema solar que forma parte de la Vía Láctea. Ejerce una fuerza de atracción gravitatoria muy grande sobre todos los planetas de su sistema haciendo que estos giren en torno a este (Roldán, 2010). Esta estrella funciona como un enorme reactor de fusión nuclear que va transformando su masa en energía de

acuerdo a la ecuación de Einstein, $E=mc^2$, donde E es la cantidad de energía liberada cuando desaparece la masa m; c es la velocidad de la luz (Carta, Calero, Colmenar y Castro, 2009).

El sol está compuesto de materia gaseosa intensamente caliente con un diámetro de 1.39×10^9 m y una distancia promedio de 1.5×10^{11} m de la tierra. Cuando se observa desde la tierra, el sol gira sobre su eje aproximadamente una vez cada 4 semanas. Extrañamente, no gira como un cuerpo sólido; el ecuador toma alrededor de 27 días y las regiones polares demoran alrededor de 30 días para cada rotación. El sol tiene la temperatura de un cuerpo negro de 5777 K. Las temperaturas en las regiones interiores centrales del sol se estiman en rangos de 8×10^6 a 40×10^6 K y la densidad se estima en aproximadamente 100 veces la del agua (Duffie & Beckman, 2013).

La potencia recibida en el límite exterior de la atmósfera sobre una superficie perpendicular a los rayos de sol, asumiendo una distancia promedio al Sol, se denomina constante solar, cuyo valor aproximado es de 1.367 kW/m². Esta cantidad llega a reducirse hasta aproximadamente 900 W/m² cuando atraviesa la atmósfera y llega al suelo (Carta et al., 2009).

El World Radiation Center (WRC) acepta el valor de 1367 W / m², con una incertidumbre del orden del 1%. GSC de 1367 W / m² (1.960 cal / cm² min, 433 Btu / ft² h, o 4.921 MJ / m² h) (Duffie & Beckman, 2013).

2.3 LUZ

Las características físico-químicas del sol hacen que irradie energía al espacio. Así la radiación solar es la energía que llega del Sol en forma de ondas electromagnéticas de diferentes frecuencias (luz visible, infrarroja y ultravioleta) de esta energía aproximadamente la mitad de las frecuencias que se reciben están comprendidas entre 0,4 μm y 0,7 μm que pueden ser detectadas por el ojo humano siendo denominadas como luz visible. (Elías y Bordas, 2011).

2.4 RADIACIÓN SOLAR

La radiación que llega a la Tierra está compuesta de: 9% ultravioleta, 42% radiación visible y 49% infrarroja. La energía de los fotones, para cada tipo de radiación, es: UV de 70 kcal/mol a 46.000 kcal/ mol, luz visible de 37 kcal/mol a 74 kcal/mol y el IR de 2 kcal/mol a 37 kcal/mol. (Elías y Bordas, 2011).

La radiación solar que llega a la superficie podemos clasificarla según Duffie & Beckman, (2013) en:

- **Radiación directa** La radiación solar que no fue dispersada en la atmósfera.
- **Radiación difusa** La radiación solar que cambio de dirección por la dispersión en la atmosfera.
- **Radiación solar total o global** La suma de la radiación solar directa y la radiación solar difusa.
- **Radiación reflejada o albedo** “Es aquella reflejada por la superficie terrestre. Las superficies horizontales no reciben ninguna radiación reflejada, porque no ven ninguna superficie terrestre y las superficies verticales son las que más radiación reflejada reciben” (Elías y Bordas, 2011, p.601)
- **Irradiancia:** Es la energía incidente sobre un área en un tiempo determinado. El símbolo G es usado para la irradiación solar, con subíndices para la irradiancia directa y difusa
- **Irradiación o exposición radiante:** Es la energía incidente sobre un área de una superficie. La insolación es un término que se aplica específicamente para la radiación de la energía solar (Carcausto y Cerron, 2016). Generalmente se utiliza el símbolo I para la insolación de una hora y H para la insolación de un día.

2.5 COMPONENTES DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

Una instalación fotovoltaica este compuesto principalmente por paneles fotovoltaicos que producen la electricidad y otros elementos que adecuan esta electricidad producida de acuerdo a los usos que se le dará. Los elementos básicos son:

- **Paneles fotovoltaicos:** Son los que absorben la energía de la radiación solar y la convierten en electricidad de corriente continua (CC).
- **Inversor:** Convierte la corriente continua (CC) en corriente alterna (CA).
- **Baterías:** Es un componente que se utiliza para almacenar la energía producida por los paneles fotovoltaicos y proporcionar energía cuando se requiera (de Arquer et al., 2020).
- **Regulador:** tiene como objetivo regular la corriente que absorbe la batería, con el fin de que esta no se sobrecargue peligrosamente y al mismo tiempo debe evitar en

lo posible que deje de aprovechar energía de los paneles (Centro de Estudios de Energía Solar [CENSOLAR], 2016).

2.6 MONITOREO DE PARÁMETROS

La naturaleza intermitente de la energía solar afecta la producción energética de un sistema fotovoltaico lo que hace que sea necesario monitorizar los parámetros para garantizar la confiabilidad; la elección de parámetros a medirse se hacen en base a la norma británica IEC 61724, los que se seleccionan de acuerdo a la configuración del sistema fotovoltaico, en la Tabla 1 se proporciona una lista de parámetros a medirse en un sistema fotovoltaico conectado a la red y autónomo (Madeti & Singh, 2017).

Tabla 1. *Parámetros medidos en una instalación fotovoltaica*

Tipo de sistema fotovoltaico	Parámetros		
	Meteorológicos	Eléctricos	
Conectado a la red	(i) Irradiancia total, en el plano de los colectores	Campo fotovoltaico: (i) Voltaje de salida	Red de suministro eléctrico: (i) Voltaje de la red (ii) Corriente a la red eléctrica (iii) Corriente de la red eléctrica (iv) Potencia a la red eléctrica (v) Potencia de la red eléctrica (vi) Impedancia de la red eléctrica
	(ii) Temperatura ambiente	(ii) Corriente de salida	
	(iii) Temperatura del modulo	(iii) Potencia de salida	
	(iv) Velocidad del viento	(iv) Energía de salida	
	(v) Dirección del viento		
	(vi) Humedad		
	(vii) Presión barométrica		
Autónomo		Carga de consumo: (i) Voltaje de salida (ii) Corriente de salida (iii) Potencia de salida	

Las variables proporcionadas por los elementos que componen la instalación fotovoltaica deben ser recuperadas por una capa de infraestructura dedicada a la monitorización y la comunicación, estas variables son necesarias para supervisar el rendimiento del sistema fotovoltaico y controlar el mantenimiento de los dispositivos (de Arquer et al., 2021).

Las variables operacionales y de medida más importantes son la radiación solar, la temperatura, la tensión fotovoltaica y la corriente, mientras que otras variables dependerán de la configuración que tenga el sistema fotovoltaico (Madeti & Singh, 2017).

2.7 NORMATIVA DE LA MONITORIZACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

La Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) nos brinda normativas de estándar internacional y la normativa para el monitoreo de desempeño del sistema fotovoltaico es IEC 61724-1: 2021 en la que se define las clases de sistemas de monitoreo del desempeño fotovoltaico, en la figura 1 se ilustra los principales elementos que comprenden los diferentes tipos de sistemas fotovoltaicos.

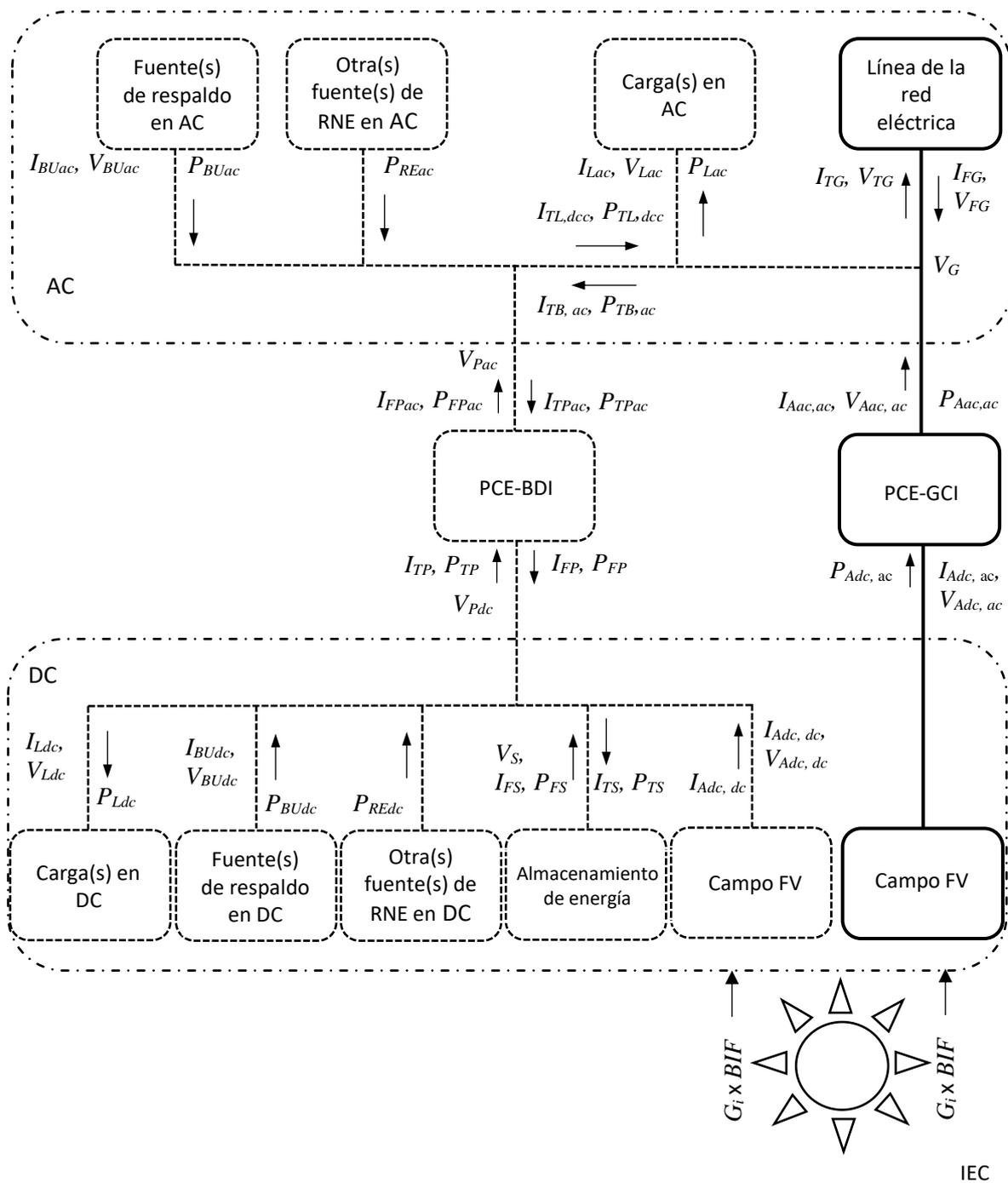


Figura 1. Magnitudes medibles de los sistemas fotovoltaicos, adaptado de (International Electrotechnical Commission[IEC], 2021).

Las líneas en negrita indican un sistema simple conectado a la red sin cargas locales, almacenamiento de energía o fuentes auxiliares y las siglas en la figura 1 son:

RNE: energía renovable

PCE: equipo de acondicionamiento de potencia

BDI: inversor bidireccional

GCI: inversor conectado a la red

Los propósitos de un sistema que monitoriza el desempeño son diversas y podrían incluir la comparación del rendimiento con las expectativas y garantías de diseño, así como la detección y localización de fallas. Para comparar el rendimiento con las expectativas y garantías de diseño debe enfocarse en los datos a nivel del sistema y la consistencia entre la predicción y los métodos de prueba. Para detectar y localizar las fallas, la resolución debe ser mucho mayor en los subniveles del sistema y enfatizar en la repetibilidad de la medición y las métricas de la correlación. En general los sistemas fotovoltaicos más grandes deben tener más puntos de monitoreo y sensores de mayor precisión que los sistemas fotovoltaicos más pequeños y de menor costo. (IEC, 2021, p.8)

2.8 PRINCIPALES INSTRUMENTOS UTILIZADOS EN EL SISTEMA DE MONITOREO FOTOVOLTAICO

Los principales instrumentos, que se utilizan en el sistema de monitoreo fotovoltaico según Madeti & Singh, (2017) son:

- **Sensores de Corriente:** Los sensores de corriente son muy importantes en el monitoreo de sistemas fotovoltaicos y son necesarios para el control y la protección.
- **Sensores de Voltaje:** Es un dispositivo que mide los niveles de voltaje de CC y / o CA.
- **Sensores de radiación solar:** Mide la radiación solar global, que es la suma de la radiación solar directa, difusa y reflejada.
- **Sensores de Temperatura:** Es un dispositivo generalmente RTD o termopar, que se utiliza para medir la temperatura mediante una señal eléctrica. Responde instantáneamente y con buena precisión.

2.9 DESAFÍOS DEL MONITOREO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO

Para monitorear un sistema fotovoltaico de forma eficiente, requiere de un equipo bien calibrado y un conjunto de dispositivos auxiliares que deben integrarse con los componentes

de medición. Ambos sistemas componen el SCADA de la instalación fotovoltaica, los sistemas SCADA enfrentan desafíos a menudo difíciles de resolver con soluciones tradicionales. Tales desafíos según de Arquer et al., (2021)son:

- **Interoperabilidad:** las instalaciones fotovoltaicas tienen una necesidad creciente de integración tanto horizontal como vertical y una buena interoperabilidad entre sus sistemas. La infraestructura de monitoreo contiene equipos provenientes de diferentes fabricantes que deben estar específicamente calibrados para un conjunto de medidas y proporcionar comunicación con diferentes protocolos (a veces incluso exigidos por ley). La integración vertical se requiere principalmente en casos en los que se deben monitorear varias instalaciones, incluso si su SCADA difiere debido a una tecnología diferente o una empresa instaladora.
- **Gestión:** la actualización y monitorización de los dispositivos industriales o de la infraestructura puede simplificar el mantenimiento permitiendo una acción más activa en lugar de arreglos reactivos, para lograr esto se necesitan buenos sistemas de comunicación para las instalaciones fotovoltaicas grandes ya que estas suelen estar aisladas por lo que todo el seguimiento debe hacerse de forma remota. Las comunicaciones también son necesarias para la videovigilancia y el acceso remoto de las empresas de energía al medidor de las instalaciones fotovoltaicas grandes.
- **Seguridad:** Las comunicaciones y la conexión remota requieren acceso a la internet desde el SCADA, por lo que el sistema debe proporcionar medidas de ciberseguridad y evitar la exposición directa de dispositivos que no estén preparados para soportar ciberataques por internet.
- **Procesamiento:** los sistemas en SCADA y la infraestructura de monitoreo deben proporcionar datos confiables. Los datos deberían recolectarse hasta una frecuencia de 1s para un buen análisis en tiempo real. Estos datos también podrían procesarse para generar métricas relevantes para el sistema de monitoreo como la relación de potencia de la instalación fotovoltaica o la energía acumulada producida en caso de que los dispositivos de monitoreo no brindasen esa información.
- **Escalabilidad:** el tamaño de los sistemas fotovoltaicos suele ser muy variable ya que es posible crear una instalación fotovoltaica con algunos paneles solares para autoconsumo o una gran planta con cientos de MW de potencia instalada, una monitorización fotovoltaica debe adaptarse a estos casos de uso sin sobredimensionar, este desafío está muy relacionado con la interoperabilidad, la infraestructura también

debe estar preparada para que en el futuro pueda permitir la interacción de sistemas nuevos y heredados o la escalabilidad se verá comprometida.

- **Costo:** Los que se consideran en una implementación fotovoltaica son los costos iniciales y los de mantenimiento. El costo de mantenimiento debe incluir también la duración de los dispositivos, ya que los escenarios fotovoltaicos generalmente se encuentran en entornos hostiles y aislados por lo que la mayoría de los dispositivos de monitoreo estarán expuestos al sol y al polvo. También existe la necesidad de sistemas de baja potencia las que no se establece por razones de autonomía sino porque el consumo de estos dispositivos afectaría directamente a la producción global de la instalación fotovoltaica.

2.10 INDUSTRIA 4.0

La industria 4.0 se presenta como la cuarta revolución industrial, según Cruz, Oliete, Morales, Gonzáles, Cendón y Hernández, (2015) siguió una evolución estructurada en la siguientes fases:

- La **primera revolución industrial** fue la que se dio por la adopción de la energía del vapor que hizo posible un incremento drástico en la producción industrial.
- La **segunda revolución** fue la responsable de la producción en masa gracias al uso de la energía eléctrica.
- La **tercera revolución**, o **revolución digital**, fue marcada por el uso de la electrónica y las tecnologías de la información introduciendo la automatización en la industria.
- Por último, la **cuarta revolución**, conocida como la **Industria 4.0**, es la que introduce masivamente los sistemas “ciber-físicos” (objetos industriales conectados con sensores y actuadores), la interconexión entre industrias y las interfaces abiertas para los servicios. En resumen, es la adopción del paradigma del Internet de las Cosas (IoT) aplicado al entorno industrial.

2.11 INTERNET DE LAS COSAS

Conocido también como IoT la que es abreviado del inglés Internet of Things. Sisinni et al., (2018) refieren que es un concepto informático que describe la conexión de muchos objetos a Internet, convirtiendo estos objetos comunes en dispositivos conectados. La idea detrás del concepto de IoT es implementar miles de millones o incluso billones de objetos inteligentes capaces de recoger información del entorno circundante, transmitir y procesar los datos

adquiridos y luego retroalimentar al entorno. Entre los componentes más importantes que componen el IoT según Larrañaga, (2016) son los siguientes:

- **El dispositivo:** Es un objeto que se conecta a la red que suele ser un dispositivo inteligente con bajo consumo de energía. Los dispositivos recolectan información a través de **sensores**, los que censan los cambios de los parámetros medidos y crean impulsos eléctricos para comunicarse y realizan acciones físicas cuando su centro de control se lo indica a través de **accionadores**. Los datos recopilados por los dispositivos se llaman **telemetría**, estos datos son solo de lectura.
- **La infraestructura de comunicación:** Son las tecnologías de red que posibilitan la conexión de los dispositivos a Internet.
- **La infraestructura de computación:** Son las herramientas que recogerán los datos enviados desde los dispositivos, como son las plataformas IoT y las aplicaciones IoT.

2.11.1 REDES INALÁMBRICAS

La conexión inalámbrica es una de las responsables que impulso el desarrollo de la tecnología IoT, para entrar en más detalle clasificaremos estas redes según su rango de comunicación.

- **WAN:** Es la sigla de *Wide Area Network* que en español es: Red de área amplia. Es una red que cubre una zona geográfica amplia.
- **MAN** Es la sigla de *Metropolitan Area Network* que puede traducirse como: Red de área metropolitana. Es una red con alcance extenso que puede cubrir hasta una ciudad.
- **LAN:** Es la sigla de *Local Area Network* que en español sería: Red de área local. Son redes de propiedad privada con extensión física limitada que suelen utilizarse en redes dentro de una empresa o del hogar.
- **PAN:** Es la sigla de *Personal Area Network* que traducido sería: Red de área personal. Son redes de corto alcance con extensiones de pocos metros.

A continuación, presentamos tecnologías de redes inalámbricas que se usan en IoT

- **Wi-Fi:** Red de datos inalámbrica que utiliza los estándares de la IEEE 802.11, según su alcance se encuentra dentro de la red tipo LAN y opera en frecuencias de 2.4GHz y 5GHz, la ventaja que tiene sobre otras redes es su compatibilidad nativa para redes IP, consumiendo energía relativamente alta y la distancia de recepción de la señal es

sobre 100 metros en espacio abierto y 20 metros en espacios cerrados (Larrañaga, 2016).

- **Bluetooth:** Esta red según su alcance se encuentra en el tipo PAN, opera en la banda ISM (Industrial, Scientific and Medical) de 2.4GHz creado para la transmisión de voz y datos. A partir de esta tecnología se creó el Bluetooth low energy (BLE), tecnología que reduce el consumo de energía y tiene un alcance de hasta 100 metros.
- **Z-Wave:** Protocolo de comunicación que según su alcance se encuentra dentro de la red LAN, Utilizado principalmente en domótica, opera según su ubicación geográfica en la banda de 968.42MHz a 921.42MHz, trabaja en un rango aproximado de 30 metros al aire libre.
- **Zigbee:** Es un protocolo de comunicación basada en el estándar IEEE 802.15.4 enfocado en redes tipo PAN, su uso se ha extendido en la domótica por su baja tasa de envío de datos y su maximización en la vida útil de sus baterías.

2.11.2 PROTOCOLOS

Los dispositivos IoT se comunican a través de protocolos, los que garantizan que la información enviada por un dispositivo o sensor sea leída y comprendida por otros dispositivos, puertas de enlaces o servicios virtuales (Microsoft Azure, 2021). Entre los protocolos más utilizados en IoT se tiene los siguientes:

- **MQTT:** Abreviatura de la forma inglesa *Message Queue Telemetry Transport*, que traducido sería: Transporte de telemetría de cola de mensajes, según el portal MQTT, (2021) es un protocolo de mensajería estándar de la Organización para el Avance de Estándares de Información Estructurada (OASIS) para IoT. Es un transporte de mensajería publicación/suscripción liviana para conectar dispositivos remotos con una huella de código pequeña y ancho de banda de red mínimo.
- **HTTP:** De sus siglas en inglés *Hypertext Transfer Protocol*, que traducido es: Protocolo de transferencia de hipertextos. Es un protocolo cliente-servidor en la web, donde el cliente es el que solicita inicialmente los datos al servidor, es muy accesible por ser de código abierto, siendo efectivo para enviar grandes cantidades de información en intervalos de tiempo de minutos u horas mas no en milisegundos. Para la implementación en un dispositivo IoT la forma más segura es incluir solo un cliente y no un servidor, de tal forma que el dispositivo IoT podrá iniciar conexiones a un servidor web, pero no podrá recibir solicitudes de conexión.

- **CoAP:** CoAp es la abreviatura de *Constrained application protocol* que traducido al español sería: Protocolo de aplicación restringido. Es un protocolo diseñado para dispositivos con capacidad limitada de procesamiento o memoria.
- **AMQP:** De sus siglas en inglés *Advanced Message Queuing Protocol*, es un protocolo de estándar abierto para middleware orientado a mensajes. Soporta comunicaciones punto a punto y de tipo publicación/suscripción.
- **LoraWan:** De sus siglas en inglés *Long Range Wide Area Network* que traducido al español sería: Red de área amplia de largo alcance. Es un protocolo de red de área amplia y baja potencia, LPWAN (Low Power Wide Area Network) que aprovecha las características de Lora (Long Range) para la comunicación inalámbrica (LoRa Alliance, 2021).

2.11.3 PUERTA DE ENLACE

También conocido en inglés como: Gateway. Administra el tráfico entre redes que usan diferentes protocolos. La puerta de enlace traduce el protocolo y realiza otras tareas de interoperabilidad. Un dispositivo de puerta de enlace de IoT a menudo es usado para proporcionar la conexión y traducción entre los dispositivos y la nube (Google Cloud, 2021).

2.12 CAPAS DE ARQUITECTURA

Las soluciones de IoT son heterogéneas y su estructura también es variable, no hay consenso sobre una única arquitectura de IoT ni soluciones de IoT, sin embargo, en todos los enfoques prevalece un conjunto de funcionalidades y desafíos que cualquier arquitectura debe abordar para desarrollar todo el potencial de la infraestructura, las funcionalidades según de (de Arquer et al., (2021) son:

- **Percepción:** se comunica con dispositivos industriales tanto para enviar como para recibir datos.
- **Normalización:** los datos deben ser estandarizados antes de usarse en la arquitectura y en ocasiones, deben filtrarse o comprimirse para una mejor comunicación.
- **Comunicación:** una de las mayores aportaciones de las arquitecturas IoT es la variedad de estrategias de comunicación en función del entorno que debe solucionarse como: falta de cableado, mala cobertura, redes distribuidas, etc.

- **Procesamiento:** los datos adquiridos deben ser procesados proporcionando nuevas métricas, para configurar alarmas o realizar una reacción crítica.
- **Enrutamiento:** los datos que están en la arquitectura, deben ser fácilmente proporcionados a otras herramientas para su operación (monitoreo y visualización, posterior procesamiento o administración).

2.13 PLATAFORMAS IOT

Las plataformas IoT cubren un gran conjunto de características. de Arquer et al., (2021) afirman que las más usuales son:

- **Gestión de software:** descarga, actualiza y proporciona versiones del software en los dispositivos de IoT.
- **Monitoreo:** rastrea el estado de los dispositivos de IoT y algunas métricas del dispositivo, como el uso de memoria, CPU, almacenamiento, estado de ejecución, etc.
- **Broker:** centraliza los datos de los dispositivos IoT y ofrece una interfaz de comunicación optimizada (mediante protocolos IoT).
- **Procesamiento:** ejecuta cálculos de datos recibidos de los dispositivos IoT.
- **Enrutamiento:** proporciona la interfaz de enrutamiento para los datos, lo que permite un modelo centralizado del flujo de datos para aumentar el control sobre este.
- **Seguridad:** autoriza y cifra la comunicación a los dispositivos IoT.

de Arquer et al., (2021) indica que el uso de tecnologías IoT para la monitorización ofrece múltiples ventajas al proceso industrial y SCADA, pero también implica algunos inconvenientes. En la tabla 2 se resume las ventajas y desventajas más relevantes relacionadas con la implementación de soluciones IoT en entornos industriales.

Tabla 2. *Ventajas y desventajas de las soluciones IoT en la industria*

Características	Finalidad	Ventajas	Desventajas
Interoperabilidad	Integrar datos y soluciones heterogéneas	Abstracción de la funcionalidad de los dispositivos posteriores	Falta de normas bien establecidas Pérdida de funcionalidad debido a la abstracción

	Permitir la integración vertical (solución de terceros)	Amplio catálogo de dispositivos y protocolos disponibles	Las arquitecturas se vuelven complejas
Gestión	Monitorear aplicaciones y dispositivos	Proporciona herramientas de monitoreo (a través de la plataforma Iot)	Requiere una plataforma IoT específica
	Fácil actualización de hardware y software	Proporciona herramientas de aprovisionamiento (a través de la plataforma IoT)	
	Facilitar la experiencia del usuario	Proporciona herramientas de visualización	Requisitos de hardware bajos
Seguridad	Evitar el ciberataque más frecuente	Normalmente proporcionan herramientas de visualización	La gestión de permisos se vuelve compleja
	Evitar la interceptación de datos	Tecnologías de comunicación versátiles	Internet puede exponer la red industrial
	Verificar los dispositivos conectados	Capacidad para procesar algoritmos de cifrado	Las comunicaciones inalámbricas pueden ser interceptadas
Procesamiento	Evitar interrupciones del proceso	Capacidad para almacenar y gestionar certificados	Aumenta la complejidad de la comunicación
	Proporcionar datos en tiempo real	Puede integrar dispositivos de alta confiabilidad	La gestión de certificados aumenta la complejidad
	Verificar la integridad de los datos	Puede integrar dispositivos de alto rendimiento	Falta de énfasis en la validación de múltiples soluciones.
		Permite la validación en tiempo real	Las altas ratios aumentan el consumo
			La gestión de reglas aumenta la complejidad

	Optimizar procesos industriales	Proporciona herramientas de procesamiento avanzadas	La gestión de procesamiento aumenta la complejidad
Escalabilidad	Facilitar la expansión horizontal	Permite la integración dinámica de dispositivos Puede integrar datos de diferentes ámbitos	Falta de validación en implementaciones amplias La gestión de datos suele ser descentralizada
	Disminuir el retraso de puesta en marcha	Se puede adaptar a soluciones muy diferentes	Curva de desarrollo inicial empinada
Costo	Minimizar el costo total	Dispositivos de bajo consumo Dispositivos de bajos requisitos	El bajo consumo compromete la funcionalidad Los gastos de software aumentan

Las plataformas IoT más representativas que se encuentran en el mercado son las siguientes:

2.13.1 IBM WATSON IOT PLATFORM

Es un servicio gestionado y alojado en la nube que posibilita el registro y conexión de dispositivos y puertas de enlace. Esta plataforma permite el control sobre los datos recibidos de los dispositivos conectados, gestión del almacenamiento de datos, transformación e integración con otros servicios de datos y plataformas de dispositivos. Además de la supervisión de datos en tiempo real a través de reglas, análisis y paneles de control también ofrece la posibilidad de la definición de reglas para supervisar condiciones y acciones automáticas que incluyen alertas, correo electrónico, IFTTT (IF This, Then That), flujos de Node-Red y servicios externos. Las prestaciones de control protegen la integridad de la solución IoT a través de la conectividad segura y control de acceso para usuarios y aplicaciones. La solución IBM Watson IoT Platform se puede personalizar conectando aplicaciones propias del usuario a través de la mensajería y API (Application Programming Interface) de REST (representational state transfer). En la figura 2 se muestra la arquitectura de dicha solución.

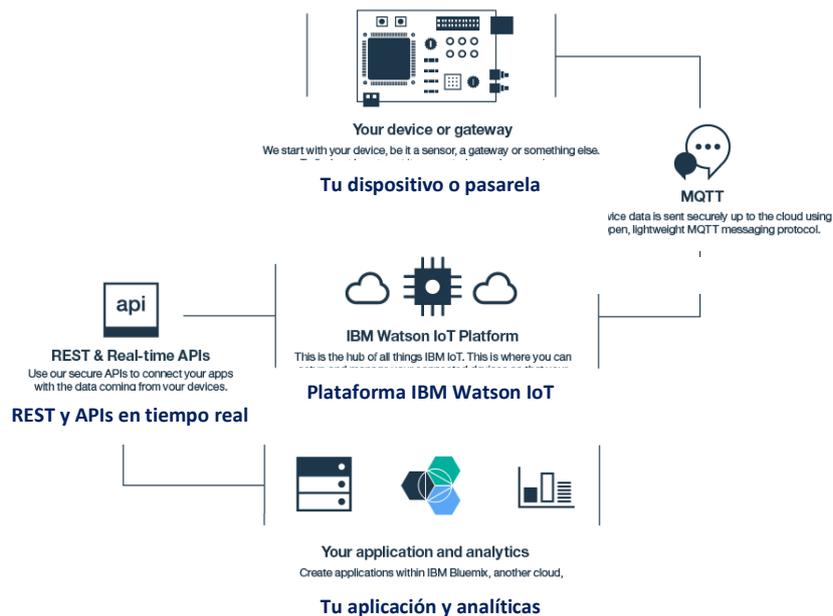


Figura 2. Arquitectura de la conexión de un dispositivo a Watson IoT Platform, adaptado de (IBM Corporation, 2021).

a. Características de la solución

La solución IBM Watson IoT Platform es un conjunto de servicios disponible en IBM cloud, IBM Corporation (2021) menciona las siguientes características:

- **Conexión:** Ingesta de datos IoT en forma de eventos MQTT mediante el uso de Platform Services para registrar, conectar y controlar los dispositivos IoT. Además, la función de conexión permite que las aplicaciones y servicios de IBM Cloud a esos eventos para procesar los datos del evento.
- **Captura de datos:** Captura de datos IoT a corto plazo en la solución Cloudant NoSQL (Not Only SQL) DB (DataBase), que brinda acceso de datos de los últimos 30 días, para acceder a los datos recientes se utiliza IBM Event Streams.
- **Monitor:** Descripción general con paneles de control integrados.
- **Análisis:** Herramientas integradas y externas para la gestión de datos, resumen y aprendizaje automático.
- **Archivo:** Escalamiento de opciones de almacenado y gestión del ciclo de vida de los datos utilizando el servicio de almacenamiento a largo plazo IBM Cloud Object Storage.

- **Gestión:** La solución SaaS (Software as a Service) de Watson IoT Platform se gestiona como una unidad y conexión a través del panel de Watson IoT Platform. Acceso a servicios como usuario con seguridad a nivel de sistema.
- **Supervisar el uso:** Supervisión del consumo y uso de datos de cada servicio para dimensionar las necesidades de la solución a través del panel de Watson IoT Platform.

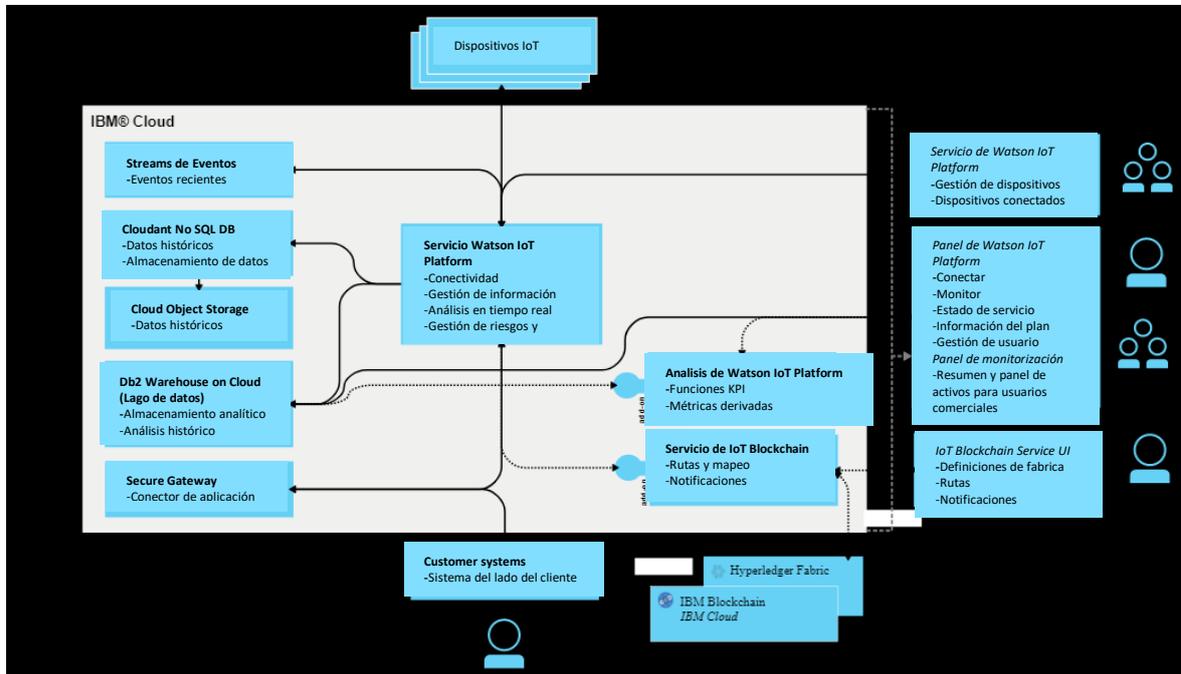


Figura 3. Interrelación de los diferentes servicios IBM cloud que componen la solución Watson IoT Platform, adaptado de (IBM Corporation, 2021).

2.13.2 AWS IOT

Amazon Web Service IoT proporciona servicios en la nube y soporte de dispositivos que se utiliza para implementar soluciones IoT, en la figura 4 se muestra la arquitectura de AWS IoT. Amazon Web Services (2021) describe los servicios agrupados de la siguiente forma:

a. Software de dispositivos de AWS IoT

AWS proporciona este software para admitir sus dispositivos IoT.

- **AWS IoT Greengrass:** Extiende el uso de los recursos de AWS a los dispositivos físicos para que estos puedan utilizar localmente los datos que generan y utilizar la nube para realizar tareas de administración, análisis y almacenamiento duradero.

- **FreeRTOS:** Es un sistema operativo de código abierto y en tiempo real para microcontroladores que permite incluir dispositivos perimetrales pequeños y de bajo consumo en la solución IoT
- **AWS IoT Device Tester:** Verifica que las interfaces de la capa de portabilidad de las bibliotecas de FreeRTOS se implementen correctamente, también realiza pruebas integrales con AWS IoT Core.
- **SDK de dispositivos AWS IoT:** El Kit de desarrollo de software de dispositivos y móviles de AWS IoT contienen bibliotecas de código abierto, guías para desarrolladores y guías de portabilidad para crear productos o soluciones IoT.

b. Servicios de control de AWS IoT

Los siguientes servicios AWS IoT administran los dispositivos de la solución IoT

- **AWS IoT Core:** Hace posible la comunicación bidireccional entre elementos conectados a internet (sensores, accionadores, dispositivos integrados e inteligentes) y la nube de AWS a través de MQTT y HTTP.
- **AWS IoT Device Management:** Es un servicio en la nube que ayuda a rastrear, monitorear y administrar los dispositivos, así como la actualización inalámbrica para el software de los dispositivos.
- **AWS IoT Device Defender:** Es un servicio de seguridad que permite auditar la configuración de los dispositivos, así como la detección de comportamientos anómalos y mitigar el riesgo de seguridad.
- **AWS IoT Things Graph:** Permite crear aplicaciones IoT con dispositivos y servicios web.

c. Servicios de datos de AWS IoT

Analiza los datos de los dispositivos

- **AWS IoT Analytics:** Es un servicio que proporciona análisis de datos no estructurados, permitiendo recopilar, procesar y almacenar los datos IoT en un almacén de series temporales.
- **AWS IoT SiteWise:** Recopila, organiza y analiza datos de equipos industriales a escala.

- **AWS IoT Events:** Detecta errores o cambios de funcionamiento para activar las acciones requeridas.

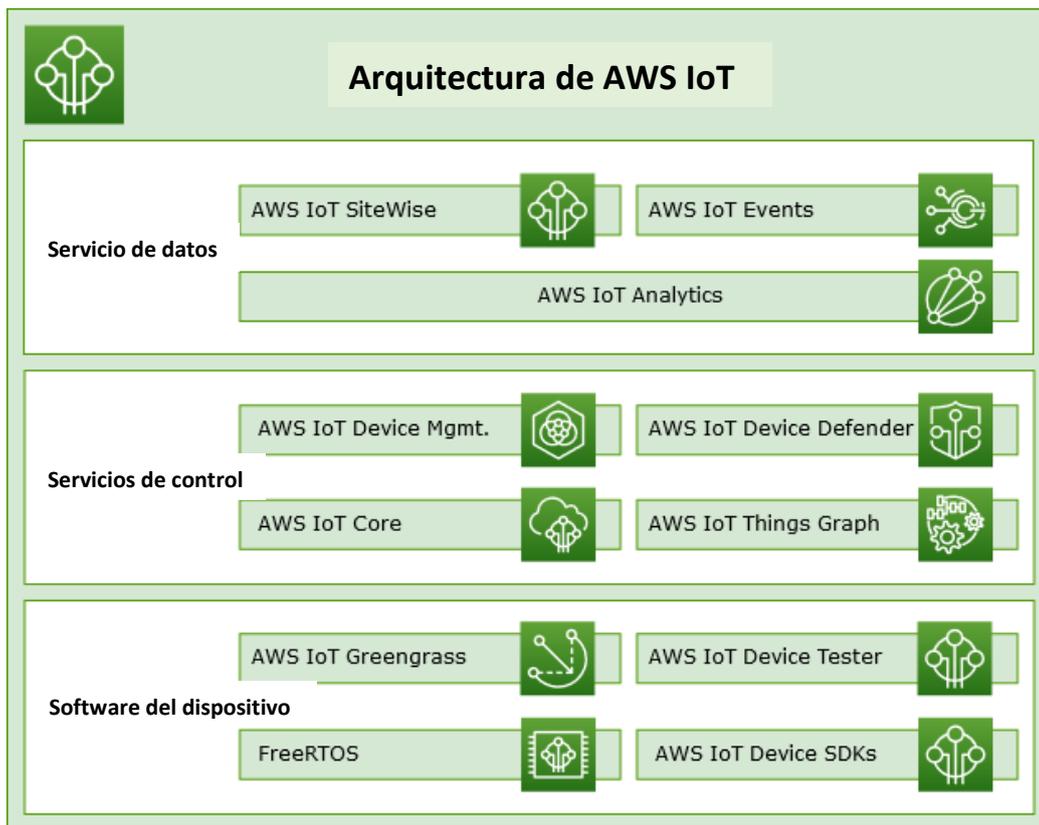


Figura 4. Servicios que componen la solución AWS IoT, adaptado de (*Amazon Web Services, 2021*).

d. Servicios de AWS IoT Core

AWS IoT Core proporciona los servicios que conectan los dispositivos IoT a la nube de AWS para que otros servicios y aplicaciones en la nube puedan interactuar con esos dispositivos. En la Figura 5 se ilustra la interrelación de los servicios AWS IoT Core además de la conexión de este servicio con servicios AWS.

Registro. Con el **Servicio de seguridad e identidad** el agente de mensajes y el motor de reglas envían datos de forma segura a dispositivos u otros servicios de AWS.

- **Servicio sombra de dispositivo:** Este servicio de datos agrega sombras a objetos de AWS IoT. La sombra mantiene el estado conectado de los dispositivos que se desconectan para que las aplicaciones y otros servicios puedan comunicarse con estos dispositivos.

e. **Conectividad del motor de reglas AWS IoT Core con Servicios AWS**

El motor de reglas puede conectarse a los servicios AWS, Amazon Web Services (2021) menciona los siguientes servicios.

- **Amazon Dynamo DB:** Es un servicio de base de datos NoSQL escalable.
- **Amazon Kinesis:** Permite procesar y analizar las transmisiones de datos en tiempo real.
- **AWS Lambda:** Permite ejecutar códigos sin aprovisionar o administrar servidores.
- **Amazon Simple Storage Service:** Abreviado como Amazon S3, almacena y recupera datos.
- **Amazon Simple Notification Service:** Abreviado como Amazon SNS, permite a las aplicaciones, usuarios finales y dispositivos enviar y recibir notificaciones desde la nube.
- **Amazon Simple Queue Service:** Abreviado como Amazon SQS, es un servicio de cola de mensajes que desacopla y escala microservicios, sistemas distribuidos y aplicaciones sin servidor.
- **Amazon Elasticsearch Service:** Abreviado como Amazon ES, facilita las tareas de implementación, operación y escalado de Elasticsearch, motor de búsqueda y análisis de código abierto.
- **Amazon Machine Learning:** Crea modelos de aprendizaje automático detectando pautas en los datos IoT.
- **Amazon CloudWatch:** Ayuda a configurar, administrar y escalar sistemas de monitorización e infraestructura propia.

2.13.3 AZURE IOT HUB

Es un servicio IoT de Microsoft Azure administrado y hospedado en la nube, que actúa como centro de mensajes para comunicaciones bidireccionales entre una aplicación IoT y los dispositivos conectados. Microsoft (2021) recomienda la arquitectura de conexión de sus servicios en la figura 6 y menciona las siguientes características:

- **Escalable:** Escala a millones de dispositivos y eventos
- **Protección de comunicaciones:** El asistente **IoT Hub device Provisioning** aprovisiona automáticamente dispositivos en IoT Hub. Se autentica cada dispositivo a conectarse y los tipos de autenticación compatibles son: autenticación basada en token de firmas de acceso compartido abreviado como SAS (shared access signature), autenticación de certificado X.509 y autenticación CA (Certification Authority) X.509.
- **Enruta datos de dispositivo:** El enrutamiento de mensajes permite controlar el envío de telemetría a los servicios en la nube. Un mensaje se puede enrutar a varios puntos de conexión. IoT Hub tiene un **Punto de conexión integrado** que permite enviar mensajes y eventos a **Event Hub**, siendo este último la plataforma de streaming de macrodatos e ingesta de eventos. IoT Hub puede enrutar los mensajes a dos servicios de almacenamiento **Azure Blob Storage** y **Azure Data Lake Storage Gen2** (ADLS Gen2). IoT Hub también permite enrutar datos al servicio **Azure Service Bus** que es un agente de mensajes.
- **Integración con otros servicios:** Para soluciones completas IoT Hub puede integrarse con otros servicios Azure, como: **Azure Event Grid** que permite crear arquitecturas basadas en eventos, **Azure Logic Apps** automatiza procesos de negocio, **Azure Machine Learning** para agregar aprendizaje automático y modelos de AI (Artificial Intelligence), **Azure Stream Analytics** para analizar y procesar flujos de datos en tiempo real.
- **Conexión de dispositivos:** Los protocolos de comunicación admitidos por IoT Hub y los SDK de dispositivos son: HTTPS, AMQP, AMQP sobre WebSockets, MQTT y MQTT sobre WebSockets. **Azure IoT Edge** permite crear una puerta de enlace y analizar los datos del dispositivo localmente para enviar menos datos a la nube.

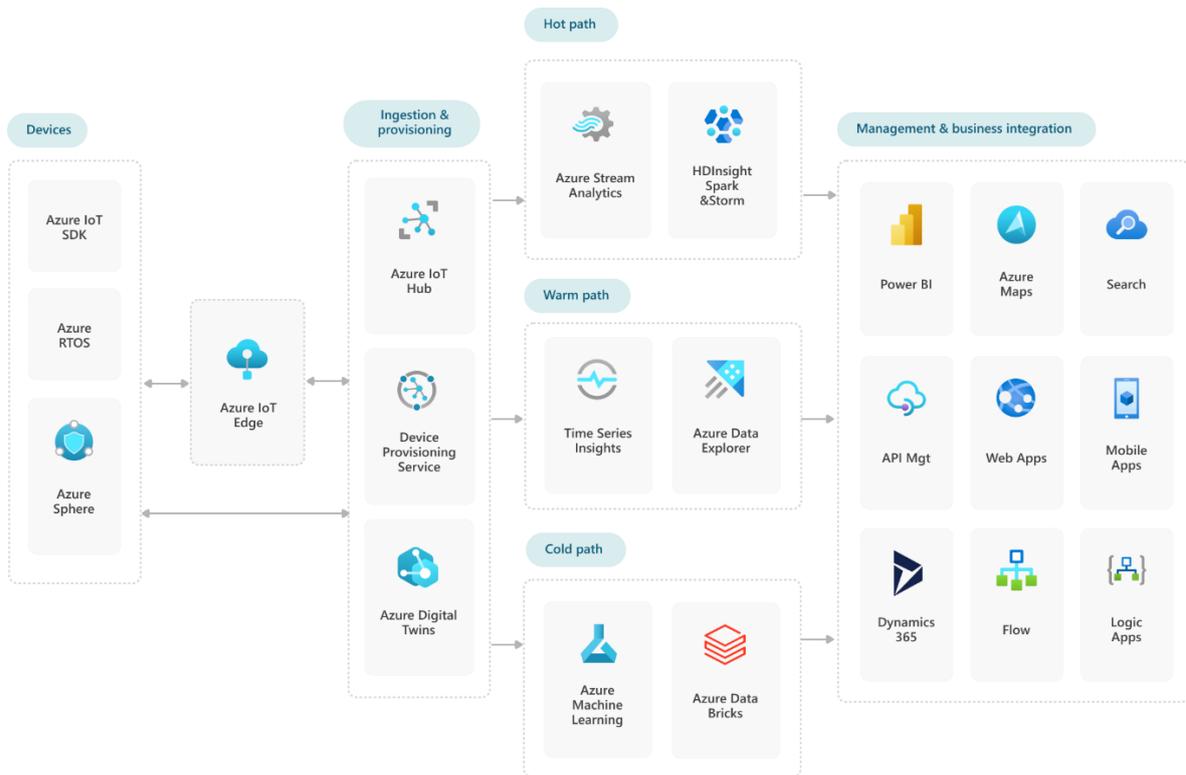


Figura 6. Arquitectura recomendada para aplicaciones IoT que usa componentes PaaS (Platform-as-a-Service) (Microsoft, 2022).

2.13.4 AZURE IOT CENTRAL

Es una plataforma de aplicaciones IoT de Microsoft Azure que simplifica la configuración inicial, reduce la carga de administración, costos operativos y sobrecarga de la solución IoT. La interfaz de usuario web permite conectar dispositivos, supervisar sus condiciones, crear reglas, administrar dispositivos y sus datos; en la figura 7 se muestra la arquitectura de la solución de Azure IoT central. Para la implementación de la aplicación IoT Central se puede utilizar una plantilla de aplicación genérica o una de las enfocadas a los siguientes sectores que menciona Microsoft, (2021):

- **Minoritas**, en este sector tenemos aplicaciones de **administración inteligente de inventario, logística conectada y centro de micrologística.**
- **Sector Energético**, en este sector encontramos aplicación de **medidores inteligentes** y aplicación de **panel solar**
- **Gobierno**, en este sector están disponibles aplicaciones de **supervisión de residuos conectados, supervisión de consumo de agua y supervisión de la calidad del agua**

- **Atención sanitaria**, en este sector está disponible la aplicación **supervisión de pacientes continua**.

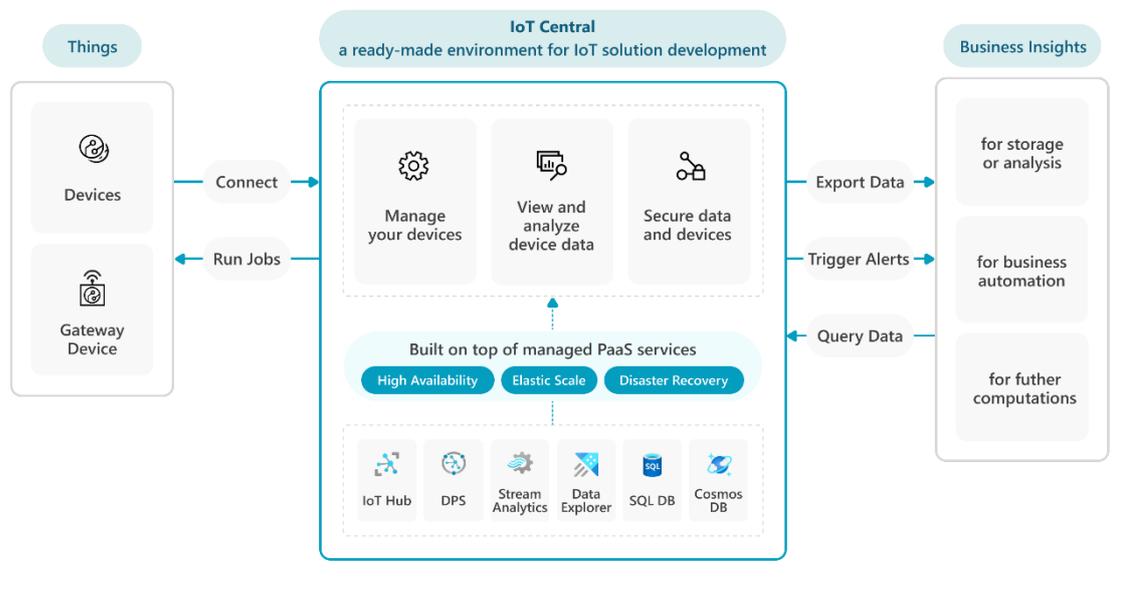


Figura 7. Arquitectura de una solución IoT Central (Microsoft, 2021).

a. Arquitectura de aplicación de panel solar

En función del tipo de panel solar y su configuración, este se puede conectar mediante puertas de enlace u otros dispositivos intermedios. Azure IoT Central brinda una plantilla de aplicación que usa características integradas como modelos de dispositivos, comandos y paneles. La plantilla de la aplicación usa el almacenamiento de IoT central para la supervisión, el análisis, las reglas y la visualización de datos de medición en tiempo real. En la figura 8 se muestra la arquitectura de uso común de las aplicaciones de paneles solares (Microsoft, 2021).

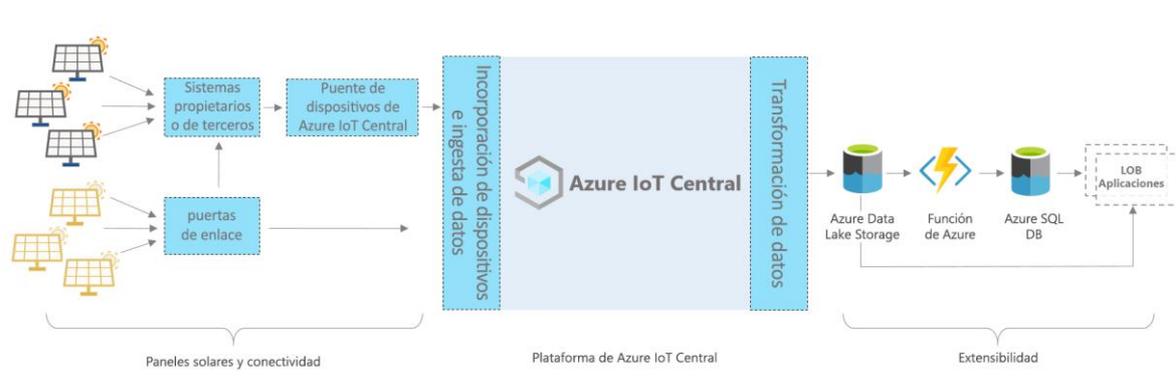


Figura 8. Arquitectura de los componentes de la aplicación de paneles solares (Microsoft, 2021).

b. Integración con otros servicios

IoT Central permite la exportación de datos de telemetría, propiedades de los dispositivos, plantillas de los dispositivos a otros servicios en los que se pueda analizar, almacenar y visualizar los datos. En la figura 9 se muestra los servicios que pueden integrarse a IoT Central (Microsoft, 2021).

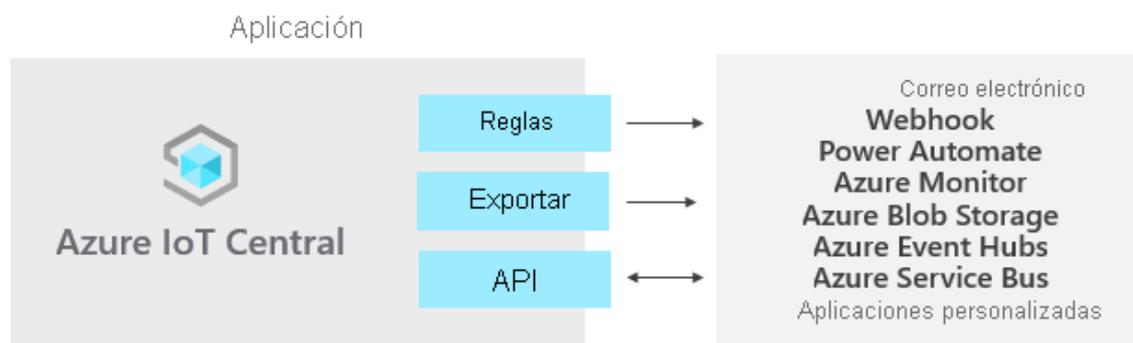


Figura 9. Integración de Azure IoT Central con otros servicios (Microsoft, 2021)

2.13.5 CLOUD IOT CORE

Es un servicio de Google Cloud gestionado para conectar, administrar e ingerir datos procedentes de los dispositivos con los que se conecta, Google Cloud (2021) muestra la integración de sus servicios en la figura 10 y menciona las siguientes características:

- **Administrador de dispositivos:** Este administrador permite configurar y gestionar dispositivos. Establece la identidad de un dispositivo y proporciona autenticación al conectarlo.

- **Puente de protocolos:** Proporciona puntos de conexión ofreciendo compatibilidad con protocolos MQTT y HTTP, también publica la telemetría de los dispositivos en Cloud Pub/Sub (publicación y suscripción) de forma subyacente para agregar datos de los dispositivos a un solo sistema global que se integra a los servicios de análisis de Google Cloud.
- **Seguridad de extremo a extremo:** Utiliza un sistema de seguridad mediante claves asimétricas con TLS (Transport Layer Security) 1.2 y los certificados son firmados por una autoridad de certificación que verifican la propiedad de los dispositivos.
- **Información valiosa de datos integrada:** Integra sistemas de análisis posteriores con los servicios de análisis automático y análisis de big data como **Dataflow** que ejecuta canalizaciones de Apache Beam dentro de Google Cloud Platform, **BigQuery** que es un almacén de datos que permite consultas SQL de alta velocidad, **Bigtable** que es un sistema de gestión de base de datos, **ML**, **Google Data Studio** que convierte datos en informes y paneles.
- **Completamente administrado y escalable:** El servicio no tiene servidores y no requiere ninguna instalación de software. Es escalable con el escalamiento horizontal de Google Cloud Platform.
- **Despliegue de dispositivos a escala:** Usa la API REST para gestionar automáticamente el registro, despliegue y funcionamiento de dispositivos a escala.
- **Asistencia y operaciones sin conexión para dispositivos con recursos limitados:** Los dispositivos sin conexión son capaces de realizar operaciones sin conexión mediante una pasarela. Las pasarelas pueden llevar a cabo tareas en nombre de un dispositivo como comunicarse con Cloud IoT Core, conectarse a internet y autenticar credenciales.

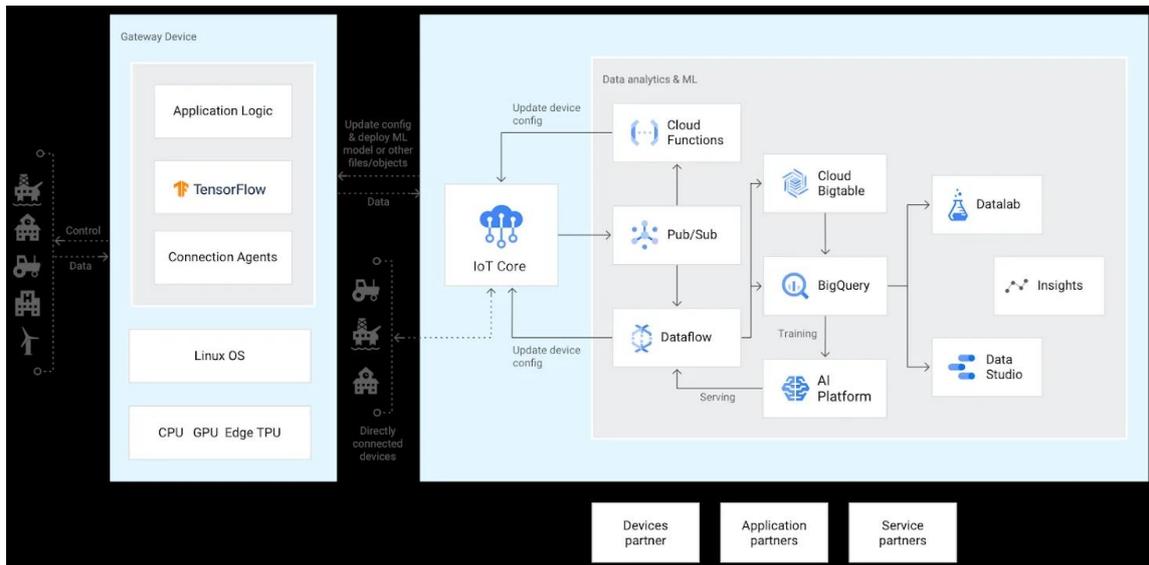


Figura 10. Integración de los servicios de Google Cloud con la solución Cloud IoT Core (Google Cloud, 2021).

2.13.6 UBIDOTS

Es una API de datos que permite la transferencia de datos usando HTTP, MQTT o TCP/UDP. Los datos enviados por los dispositivos son denominados puntos o dots las cuales tienen un valor numérico, una marca de tiempo y un contexto; en la figura 11 se muestra la jerarquía de datos (Ubidots, 2022).

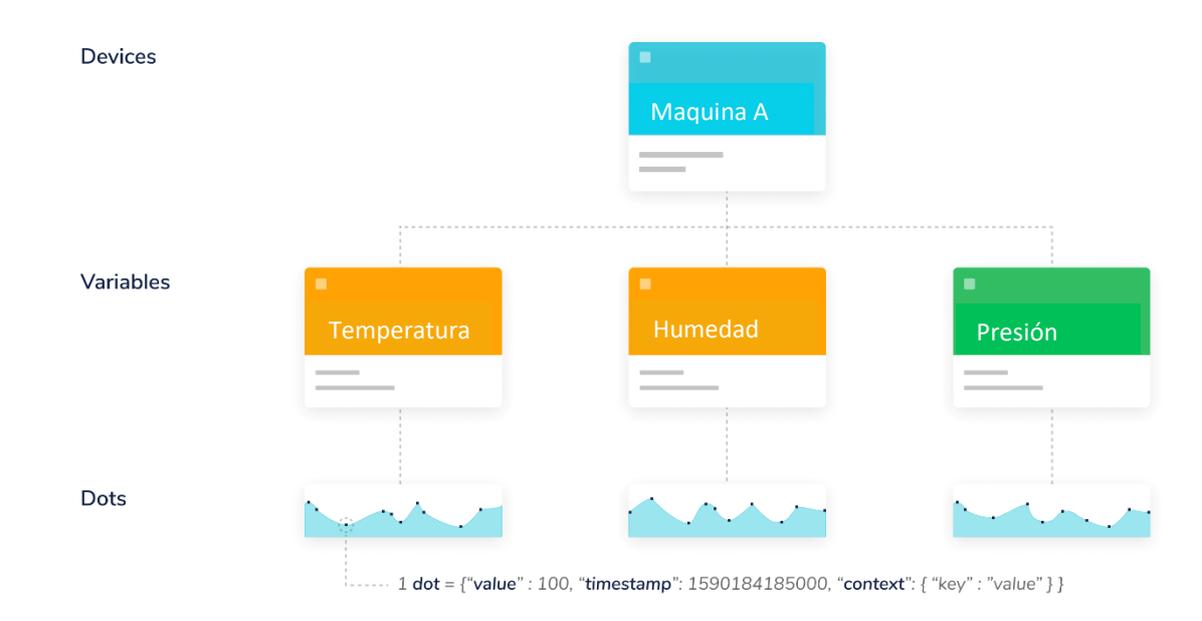


Figura 11. Jerarquía de datos de Ubidots, adaptado de (Ubidots, 2022).

Los datos de esta plataforma se almacenan en el centro de datos de Toronto IBM. Ubidots (2022) menciona las siguientes herramientas IoT y en la nube de la plataforma:

- **SDK y API aptos para dispositivos:** Integración a través HTTP, MQTT, TCP, UDP o protocolos personalizados.
- **Complemento de datos Entrada/Salida de terceros:** Creación de API personalizada, análisis de datos e ingestión de datos de terceros como Sigfox, Particle Cloud, mcCloud, NB-IoT, TTN, redes LoRaWan, etc, así como la ampliación del monitoreo y el análisis de datos de las aplicaciones con integraciones de API externas.
- **Motor de análisis:** Transformación de datos en variables sintéticas que calcula fórmulas matemáticas complejas y expresiones estadísticas. Codificación de funciones para el análisis de datos.
- **Backend y almacenamiento de series temporales de dos años:** Retención continua de los datos por 2 años que permite la extracción de las mismas, así como su análisis, detección de anomalías o mantenimiento predictivo.
- **Tablero en vivo:** Creación de paneles que muestran datos en tiempo real, en forma de tablas, cuadros, gráficos, indicadores, mapas, métricas y widgets de control.
- **Informes programados:** Exportación de informes en formato PDF o Excel.
- **Motor de eventos:** Comunicación M2M, alerta SMS, correo electrónico, Telegram y Slack.
- **Gestión de usuarios:** Asignación de permisos y restricciones al usuario final.
- **Marca blanca personalizada:** Creación de aplicación final completamente personalizada con marca propia.
- **Explorador de Ubidots:** Acceso a ubidots desde la aplicación para Android.

2.13.7 KAA IOT

KaaIoT Technologies (2022) menciona las características de la plataforma Kaa IoT:

- **Descripción general de la arquitectura:** Las funciones de la plataforma permiten crear aplicaciones, administrar los dispositivos conectados a la nube, procesar datos y analizar la telemetría de los dispositivos. Las funciones de Kaa se implementan con microservicios portátiles y Kaa lo que permite personalizar por separado cada característica de Kaa.

- **Conectividad:** Es compatible con los protocolos MQTT y HTTP, también admite cualquier protocolo IoT que se cree y agregue a la plataforma. Permite la conexión mediante canales cifrados o no cifrados.
- **Gestión de dispositivos:** Los dispositivos son administrados con el registro de gemelos digitales, que representan cosas, dispositivos y otras entidades administradas por la plataforma.
- **Recopilación de datos:** Proporciona un protocolo para recopilar datos de los dispositivos conectados para el envío a múltiples canales de procesamiento, admitiendo el procesamiento por lotes de datos estructurados y no estructurados.
- **Procesamiento y análisis de datos:** Permite el envío de datos a varias bases de datos o sistemas de análisis de datos, los datos no estructurados se pueden transformar en series de tiempo estructurados.
- **Visualización de datos:** La función de visualización comprende un conjunto de widgets como indicadores, gráficos, mapas, tablas, etc, estos widgets son configurables y permiten la interacción con los dispositivos enviando comandos, cambiando la configuración y los metadatos. Los tableros permiten la organización de los widgets en grupos lógicos y la definición del diseño.
- **Alertas, disipadores y notificaciones:** Kaa está preintegrado a Open Distro for Elasticsearch, que es una plataforma de código abierto con la que se puede sincronizar datos de series temporales a través de su interfaz visual Kibana lo que permite consultar las series temporales de los dispositivos, así como la personalización de los gráficos y las notificaciones inteligentes a través de los canales de comunicación como correo electrónico, Slack, SMS, notificaciones automáticas, etc.
- **Gestión de la configuración:** Permite la implementación de la funcionalidad que controla el comportamiento del dispositivo, administra los parámetros de procesamiento de datos, análisis perimetral, el marcado de características y otras funciones.
- **Ejecución de comandos:** La comunicación bidireccional permite la ejecución de comandos y el envío de una respuesta al servidor por parte del dispositivo.
- **Actualizaciones por aire:** Permite la entrega de actualizaciones de software.
- **Multi Alquiler:** Una sola instancia de Kaa puede servir a varios inquilinos independientes.

- **Gestión de acceso e identidad Kaa (IAM):** Brinda un control sobre la seguridad operativa.

2.13.8 ARDUINO IOT CLOUD

Es un servicio desarrollado por Arduino, una compañía de software y hardware libre. Arduino, (2022) menciona una lista de las características de Arduino IoT Cloud:

- **Monitoreo de datos:** Monitorización de valores a través de su tablero.
- **Sincronización de variables:** Permite la sincronización de variables entre dispositivos con una codificación mínima.
- **Programador:** Programación de trabajos durante un periodo de tiempo específico.
- **Cargas por aire (OTA):** Cargar de códigos a dispositivos que no están conectados a una computadora.
- **Webhooks:** Permite la integración con otros servicios.
- **Soporte de Amazon Alexa:** Control del proyecto con voz con la integración de Amazon Alexa.
- **Uso compartido del panel:** Permite compartir los datos con otras personas a nivel mundial.

2.13.9 THINGSPEAK

Es un servicio IoT de análisis con una plataforma que permite agregar, visualizar y analizar flujos de datos en la nube en tiempo real, también permite enviar alertas a Twitter y Twilio. ThingSpeak, (2022) en la figura 12 presenta la arquitectura de las conexiones de los dispositivos con sus servicios y menciona las siguientes características:

- Recolectar datos en canales privados
- Compartir datos con canales públicos
- API RESful y MQTT
- Análisis y visualizaciones de MATLAB
- Programación de eventos
- Alertas
- Integración de aplicaciones

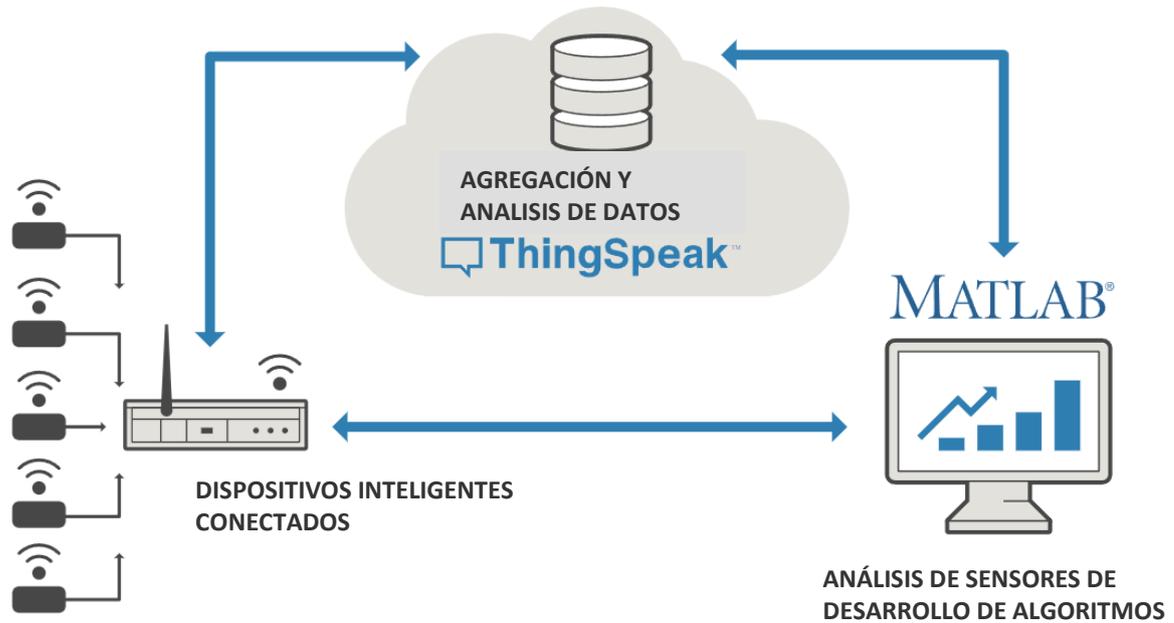


Figura 12. Arquitectura de las conexiones de dispositivos y análisis de datos (ThingSpeak, 2022)

2.14 AZURE BLOB STORAGE

Es un servicio de almacenamiento de objetos de Microsoft en la nube. Microsoft, (2022) refiere que el almacenamiento de blobs almacena grandes cantidades de datos no estructurados y este almacén de datos está diseñado para:

- Visualización de imágenes y documentos en un explorador.
- Almacenamiento de un archivo por acceso distribuido.
- Transmisión de audio y video.
- Escribir en archivos de registro.
- Almacenamiento de datos para copia de seguridad y restauración, recuperación ante desastres y archivado.
- Almacenamiento de datos para el análisis local o un servicio hospedado de Azure.

Se puede acceder a los objetos en blobs a través de HTTP/HTTPS. Microsoft, (2022) menciona tres tipos de recursos los que se visualizan en la figura 13 y los describe a continuación:

- **Cuenta de almacenamiento:** Proporciona un espacio de nombres único en Azure para los datos, así el objeto almacenado en Azure Storage tiene una dirección que incluye su nombre de cuenta único.
- **Contenedor:** Organiza un conjunto de blobs similar a un directorio en un sistema de archivos.
- **Datos Blobs:** Azure Storage admite **blobs en bloques** que almacenan textos y datos binarios; **blobs en anexos** optimizados para operaciones de admisión; **blobs en páginas** utilizados como discos para máquinas virtuales de Azure.

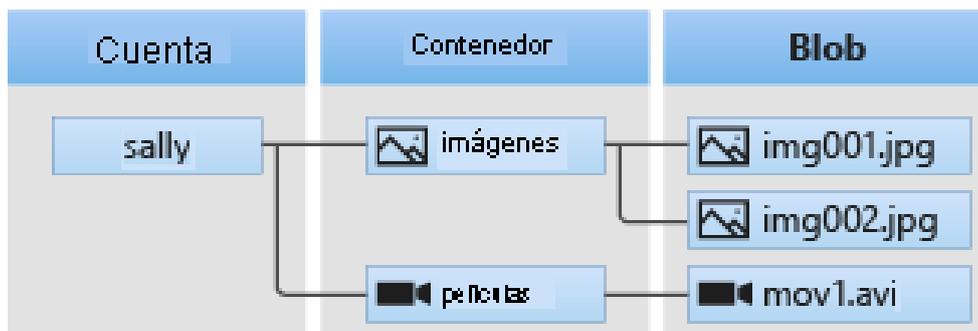


Figura 13. Relación entre recursos de Blob Storage (Microsoft, 2022)

2.15 AZURE SQL DATABASE

SQL acrónimo del inglés que traducido significa lenguaje de consulta estructurada, este lenguaje está diseñado para trabajar con bases de datos relacionales como Azure SQL Database, Microsoft, (2022) define su servicio como un motor de base de datos de plataforma como servicio (PaaS) totalmente administrado encargado de administrar la mayoría de funciones de las bases de datos, como actualizar, aplicar revisiones, crear copias de seguridad y supervisar sin la intervención del usuario; Azure SQL se ejecuta en el motor de base de datos SQL Server, adecuado para aplicaciones modernas en la nube, ya que permite procesar datos relacionales como estructuras no relacionales, este servicio permite definir y escalar entre dos modelos de compra diferentes: modelo basado en núcleo virtual y modelo basado en Unidades de transacción de base de datos (DTU), SQL Database además ofrece alta disponibilidad, copias de seguridad y otras operaciones de mantenimiento comunes.

2.16 REALVNC

VNC son las siglas en inglés de Virtual Network Computing que, traducido sería Computación virtual en la nube, es un software libre que permite el control de la pantalla de

un servidor a través del cliente de forma remota. REALVNC es una compañía que ofrece un software de acceso remoto llamado VNC Connect basado en computación virtual en la nube, REALVNC, (2022) menciona las siguientes funciones de su software:

- **Acceso a dispositivos:** Control de dispositivos que cuentan con VNC Connect de forma atendida o desatendida y con una conexión directa o a través de la nube.
- **Soporte instantáneo:** Soporte instantáneo a la suscripción de VNC Connect para conectarse al equipo de un compañero.

2.17 LOGO! SOFT COMFORT

Es el software de LOGO! que se puede instalar en una computadora de escritorio, permitiendo la comunicación y configuración del PLC LOGO!, Siemens, (2022) describe que el software permite generar programas de conmutación en la PC para modo de usuario y modo de red, estos programas se desarrollan en un diagrama de bloques de función (FBD) o lógica de escalera (LAD), además se puede probar los programas desarrollados con la función de simulación o hacer una prueba en línea con el PLC conectado.

2.18 NODE-RED

Es una herramienta de programación de código abierto desarrollado por IBM que permite la conexión de dispositivos, API y servicios en línea. OpenJS Foundation, (2022) menciona las siguientes características:

- **Edición de flujo basado en navegador:** Proporciona un editor de flujo basado en navegador facilitando la interconexión de flujos que conectan nodos, los que se pueden implementar rápidamente. Se pueden crear funciones de JavaScript utilizando un editor de texto.
- **Basado en Node.js:** El entorno de ejecución se basa en Node.js, este entorno ligero permite su ejecución en Hardware de bajo costo como el Raspberry Pi, así como su ejecución en la nube.
- **Desarrollo Social:** Los flujos y nodos creados en Node-RED se almacenan en formato JSON, esto facilita su importación y exportación con otros usuarios.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS

3.1.1 HIPÓTESIS GENERAL

La utilización de un sistema de sistema de monitoreo, procesamiento y análisis de datos en el generador fotovoltaicos de conexión a la red (SFRC) de 3.7 kW con convertidores CC/CC, basado en tecnología IoT y computación en la nube, permite evaluar parámetros de funcionamiento en tiempo real, en forma eficiente.

3.1.2 HIPÓTESIS ESPECIFICA

- Las funciones computacionales en la nube brindadas por las empresas que ofrecen servicios de sistematización y monitorización son adecuadas para aplicar a sistemas fotovoltaicos, logrando analizar y sistematizar datos de parámetros de funcionamiento.
- El diseño de sistema de exportación utilizando tecnología IoT, permite interactuar con la nube.
- El sistema implementado para el monitoreo de datos de sistemas fotovoltaicos satisface la necesidad de los usuarios.

3.2 POBLACIÓN

Constituida por los Sistemas fotovoltaicos conectados a la red (SFRCs) ubicadas en el Instituto de Energías Renovables y Eficiencia Energética.

3.3 MUESTRA

Es la instalación fotovoltaica conectada a la red (SFRC) de 3 KW con convertidores CC/CC.

3.3 PROCEDIMIENTO

Para la exploración de los servicios en la nube se investigó sobre la bibliografía disponible de los distintos trabajos de investigación, la documentación de los servicios en la nube, lenguajes de programación, foros y videos disponibles en YouTube, conectando dispositivos a estos servicios para evaluar su comportamiento según lo requerido en el sistema de monitorización a desarrollarse, finalmente se eligió los servicios que permitan la

interoperabilidad, gestión, seguridad, procesamiento, escalabilidad y menor costo del sistema de monitorización a implementarse.

El desarrollo del sistema de monitorización, análisis y almacenamiento de datos en la nube se inició con el recojo de datos de los diferentes sensores en el PLC transformándolos para ser enviados al dispositivo con conectividad a la nube, en este dispositivo se transformaron los datos y el formato para poder ser enviados a la nube, en la nube seleccionada se desarrolló la aplicación mostrando la ingesta de telemetría en tiempo real, datos históricos, paneles que muestran los datos, paneles gráficos, análisis de datos, reglas de usuarios, seguridad y exportación de datos para su almacenamiento y análisis.

3.4 MATERIALES

Se detallan los materiales utilizados para la consecución de los objetivos de este proyecto.

3.4.1 PLACA DE MICROCONTROLADOR

La placa es Arduino UNO con microcontrolador ATmega328P, voltaje de entrada de 7 a 12 V CC, 14 pines digitales de E/S de la cuales 6 proporcionan salidas PWM, 6 pines de entrada analógica, 32k de memoria flash, reloj de 16MHz de velocidad, puerto USB-B

3.4.2 POTENCIÓMETRO

Potenciómetros de 5K y 1K ohmios.

3.4.3 COMPUTADORA PORTÁTIL

El modelo del dispositivo es HP Laptop 15-gw0013la con procesador AMD Ryzen 7 3700U with Radeon Vega Mobile Gfx, velocidad del procesador 2.30 GHz, memoria RAM de 8 GB, GPU AMD Radeon (TM) RX Vega 10 Graphics con 2GB de memoria, almacenamiento SSD 476.94 GB y el software instalado es el sistema operativo Windows 10 Home 64 bits.

3.4.4 DAQ HARDWARE

El hardware utilizado para la adquisición de datos (DAQ) es el controlador lógico programable (PLC) de marca LOGO! 8.3 24CE, 24V DC que cuenta con reloj en tiempo real integrado, interfaz Ethernet, módulo lógico con pantalla, 8 entradas digitales de las cuales 4 se pueden usar como entradas analógicas (de 0V a 10V), 4 salidas de transistor, memoria de 400 bloques, posibilidad de ampliación modular, servidor web integrado, registro de datos, páginas web personalizadas, tarjeta microSD estándar para LOGO! Soft

Comfort V8.3 o superior, soporta la comunicación SIMATIC S7/Modbus a través de una red Ethernet TCP/IP de 10/100Mbps/s y permite la conexión a la nube de AWS Cloud.

3.4.5 MÓDULO DE EXPANSIÓN

El modulo de ampliación es LOGO! AM2 RTD, este es un módulo analógico que se conecta al PLC LOGO! 8.3, alimentándose con DC12/24V, tiene 2 entradas que soportan PT100 y PT1000.

3.4.6 SENSOR DE TEMPERATURA

El sensor es PT100 del tipo RTD (detector de temperatura por resistencia) fabricado con platino con una resistencia de 100 ohmios y es de 3 hilos.

3.4.7 HARDWARE PARA IOT

El dispositivo es Raspberry Pi 4 modelo B con un sistema en chip compuesto por una CPU ARM Cortex-A72 de 64 bits con cuatro núcleos de 1.5 o 1.8 GHz y un GPU Broadcom VideoCore VI de 500MHz, una memoria RAM de 8GB, una ranura de tarjeta microSD que admite hasta 512GB de almacenamiento, un puerto Ethernet que admite conexiones gigabit de 1000Mbps/s, una conexión inalámbrica, una radio que admite redes WiFi 802.11ac y conexiones Bluetooth 5.0 y BLE, 2 puertos USB 3.0, 2 puertos USB 2.0, sistema GPIO de 40 pines, 2 puertos micro HDMI, un puerto de pantalla MIPI DSI de dos carriles, un puerto de cámara MIPI CSI de dos carriles, un puerto de audio y video de 4 polos, alimentación a través de Ethernet (PoE), un conector USB-C para la conexión de la fuente de energía que debe ser de 5V con un mínimo de 3A. En la figura 14 se muestran los principales componentes del Raspberry Pi 4.

El dispositivo está conectado las 24 horas del día durante los 7 días de la semana, por lo que fue incorporado en un case con sistema de refrigeración compuesto por 2 pastas refrigerantes para el chip y la memoria, disipadores de calor en la parte superior e inferior del dispositivo, además de 2 ventiladores en la parte superior; el Raspberry Pi incorporado a su sistema de refrigeración se visualiza en el anexo 3.

Al dispositivo se incorporó una memoria microSD HP de 32GB para su almacenamiento, en esta memoria se instala el sistema operativo y las aplicaciones necesarias para su conectividad.

- | | | |
|---|-------------------------------|--------------------------|
| A Entrada de alimentación USB tipo C | F Sistema en chip | K PoE |
| B Puerto de pantalla DSI | G GPIO | L USB 2.0 |
| C Conexión inalámbrica / Bluetooth | H RAM | M USB 3.0 |
| D Micro-HDMI 0 | I Puerto de cámara CSI | N Puerto Ethernet |
| E Micro-HDMI 1 | J AV de 3,5 mm | |

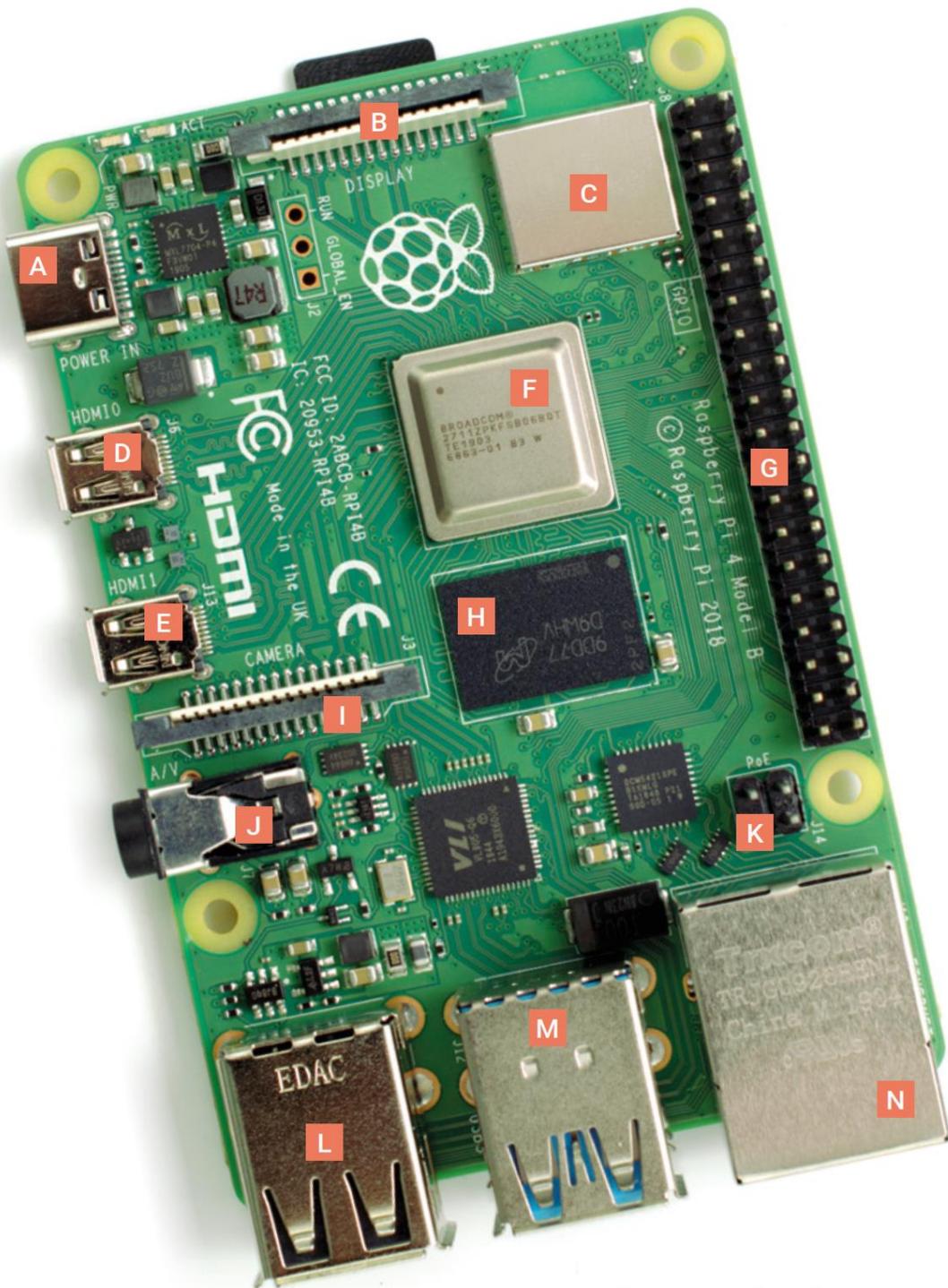


Figura 14. Componentes del Raspberry Pi 4 modelo B usado en el sistema de monitoreo de la instalación fotovoltaica (Halfacree, 2020)

3.5 METODOLOGÍA

Los servicios en la nube es un conjunto de tecnologías en constante desarrollo ofrecida por múltiples empresas, estas nos ofrecen un abanico de herramientas y servicios propios y/o interrelacionados con terceros que permiten desarrollar sistemas de acuerdo a las necesidades de los usuarios. Para el cumplimiento del objetivo principal nos enfocamos en las plataformas que nos ofrezcan la posibilidad de conectarnos con dispositivos en tiempo real denominado internet de las cosas, la posibilidad de análisis y almacenamiento en la nube.

3.5.1 METODOLOGÍA PARA LA COMPARACIÓN DE DIFERENTES SERVICIOS EN LA NUBE

Se exploró los servicios de internet de las cosas de las empresas más reconocidas, la mayoría de estas empresas evaluadas son de gama alta por lo que ofrecen múltiples servicios en la nube. Dichos servicios fueron evaluados según los desafíos que deben superarse en la monitorización de sistemas fotovoltaicos, que son:

- **Interoperabilidad:** Las instalaciones fotovoltaicas tiene diferentes componentes y dispositivos de distintos fabricantes que deben integrarse y calibrarse, estos proporcionan información en diferentes protocolos, además si se deben monitorizar varias instalaciones estos también deben integrarse.
- **Gestión:** Debe actualizarse y monitorizarse los dispositivos para la prevención de daños.
- **Seguridad:** El sistema debe proporcionar medidas de ciberseguridad para la prevención de ciberataques y acceso de personal no autorizado.
- **Procesamiento:** Debe proporcionarse datos confiables con una frecuencia mínima de 1s para el análisis en tiempo casi real.
- **Escalabilidad:** El sistema de monitoreo debe de adaptarse a los diferentes tamaños de las instalaciones fotovoltaicas, además de permitir la interacción con nuevas instalaciones.
- **Costo:** Se considera los costos de implementación y mantenimiento del sistema de monitoreo, así como su robustez a las inclemencias climáticas a las que están expuestos las instalaciones fotovoltaicas.

Para explorar y evaluar las plataformas se conectó a la mayoría de las plataformas IoT dispositivos que enviaron señales analógicas, detallándose a continuación la metodología usada para cada plataforma IoT.

a. Evaluación de IBM Watson IoT Platform

Se conecto el Arduino UNO a los dos potenciómetros de 1K y 5K para simular el envío de datos de dos sensores, el Arduino se conectó al portátil recogiendo los datos en el IDE de Arduino el que se conectó al node-RED y este finalmente envió esos datos a IBM Watson IoT.

b. Evaluación de AWS IoT

Se conecto el Arduino UNO a AWS IoT con la misma arquitectura usada para la conexión a IBM Watson con la diferencia de que en el node-RED se configuro y se conectó a AWS IoT.

El PLC LOGO! 8.3 se expandió con el AM2 RTD al que se le conecto dos PT100 los que censaron la temperatura del ambiente, este PLC se conectó a AWS IoT configurándose la conexión mediante LOGO Soft Comfort.

c. Evaluación de Azure IoT Hub

Se conecto el Arduino UNO a Azure IoT Hub con la misma arquitectura usada para la conexión a IBM Watson variándose los nodos en el node-RED y conectándose a Azure IoT Hub este a su vez envió los datos al servicio Stream Analytics del que se volvió a enviar los datos a Power BI para su visualización y análisis.

d. Evaluación de Azure IoT Central

Se utilizo la misma arquitectura de conexión del Arduino UNO a IBM Watson, con la diferencia en la configuración del node-RED conectándose así a la aplicación supervisión del panel solar de Azure IoT Central.

e. Evaluación de Cloud IoT Core

Se conecto un dispositivo virtual que brinda el mismo servicio Cloud IoT Core para visualizar su funcionamiento.

f. Evaluación de Ubidots

Se conecto el LOGO! 8.3 utilizando la misma arquitectura usada para conectarse a AWS, no obstante, en este caso los datos se enviaron a un portátil configurándose la conexión a node-RED con el LOGO Soft Comfort, enviándose estos datos a Ubidots desde el node-RED.

g. Evaluación de Kaa IoT

Se evaluó las funcionalidades disponibles con la documentación disponible del servicio.

h. Evaluación de Arduino IoT Cloud

Se evaluó las funcionalidades revisando la documentación disponible en esta plataforma.

i. Evaluación de ThingSpeak

El LOGO! 8.3 se expandió con el módulo AM2 RTD para poder leer la información analógica que recogía de los 2 sensores de temperatura PT100, el PLC se conectó al portátil para enviar los datos al node-RED a través del LOGO Soft Comfort, el node-RED se conecto a la plataforma ThingSpeak, enviándose así los datos recogidos por los sensores a este servicio.

3.5.2 METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA PARA LA EXPORTACIÓN DE DATOS A LA NUBE

El diseño del sistema de monitoreo basado en IoT para la instalación fotovoltaica conectada a la red con convertidores de corriente continua CC/CC, se elaboró en base a las características que esta presenta y las condiciones en las que se encuentra, detallándose en los siguientes apartados.

a. Localización del SFCR con convertidores de corriente continua CC/CC

El sistema fotovoltaico conectado a la red (SFCR) está instalado en el Instituto de Energías Renovables y Eficiencia Energética de la Universidad Nacional de Juliaca en Perú, región Puno, distrito Juliaca, centro poblado Ayabacas, a 3833msnm, latitud 15° 24' 33"S y longitud 70° 05' 26"O. En la figura 15 se muestra la localización del SFCR.

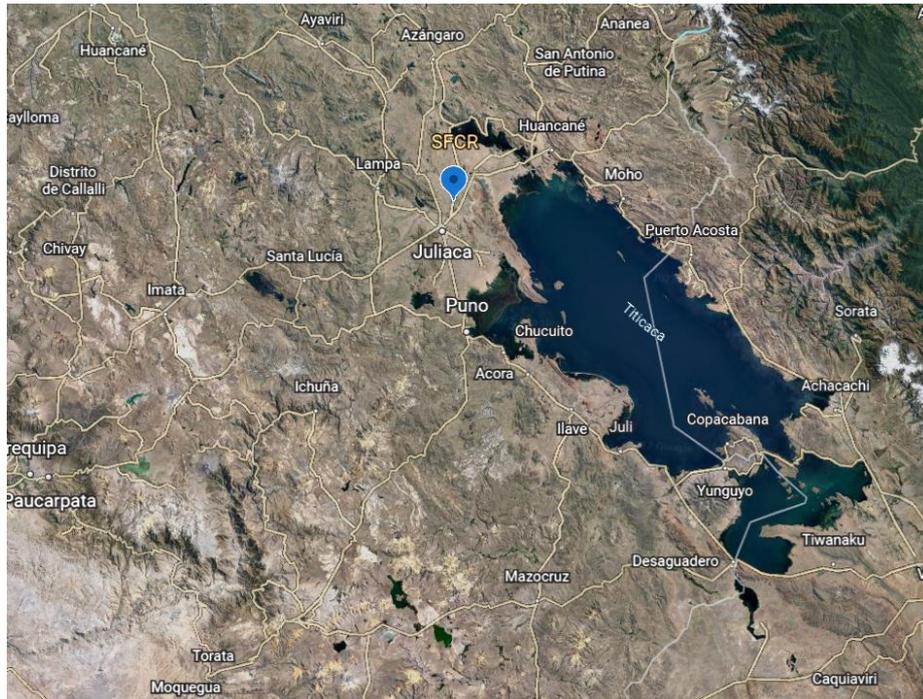


Figura 15. Localización de la instalación fotovoltaica conectada a la red desde Google Earth (Google, 2022).

b. Características de la instalación fotovoltaica

El sistema fotovoltaico conectado a la red, está compuesto por 10 módulos de 370W de potencia nominal cada uno, por lo que la potencia instalada es 3.7kW aproximadamente, 10 convertidores CC/CC e inversor de CC/CA, en el anexo 1 se visualiza esta instalación fotovoltaica.

c. Parámetros medidos del SFCR

Los datos adquiridos de la instalación fotovoltaica conectada a la red comprenden los parámetros meteorológicos y los eléctricos.

i. Parámetros meteorológicos

- **Radiación solar:** Se mide la irradiancia en el plano de los paneles lo que están instalados con una inclinación de 15° , el instrumento instalado para este propósito es una celda calibrada de 10W de potencia nominal, esta celda está conectada a un convertidor de corriente RMCA61BD Schneider Electric que cambia la corriente de A a mA, enviando esta señal al módulo de expansión LOGO! AM2, esta a su vez envía esta señal analógica al LOGO! 8.3. En la figura 16 se muestra la celda calibrada mencionada.



Figura 16. Celda fotovoltaica calibrada para medir la radiación solar incidente en el SFCR.

- **Temperatura:** Se mide la temperatura con 4 sensores PT100 adheridos adecuadamente en los siguientes puntos: el centro de un panel fotovoltaico, el extremo de un panel fotovoltaico, la celda y el inversor. Estos sensores están conectados a dos módulos de expansión LOGO! AM2 RTD que se conectan entre ellas y envían las señales analógicas al LOGO! 8.3.



Figura 17. Sensor de temperatura PT100 adherido a la parte posterior del panel fotovoltaico del SFCR.

ii. Parámetros eléctricos

- **Voltaje:** El voltaje de la instalación fotovoltaica se mide con un convertidor de voltaje RMCV60BD Schneider Electric que se encarga de convertir la tensión del sistema a un voltaje mucho menor y enviar la señal analógica al LOGO! 3.8
- **Corriente:** Se mide la corriente del SFCR con un RMCA61BD Schneider Electric el que esta conectado al mismo módulo de expansión LOGO! AM2 que recibe las

señales de corriente de la celda calibrada, este módulo de expansión está conectado al LOGO! 8.3 al que envía las señales analógicas.

d. Adquisición de datos

Los datos adquiridos por los transductores de corriente y voltaje están calibrados con una pinza amperimétrica certificada, todas las señales analógicas, tanto de los sensores de temperatura, transductores de corriente, voltaje y la celda calibrada son procesadas en el LOGO! 8.3. La programación fue desarrollada en el software Logo Soft Comfort cuyo diagrama se muestra en la figura 18, estos datos también se almacenan en una memoria microSD insertada en dicho PLC; en el anexo 2 se visualiza el sistema de adquisición de datos.

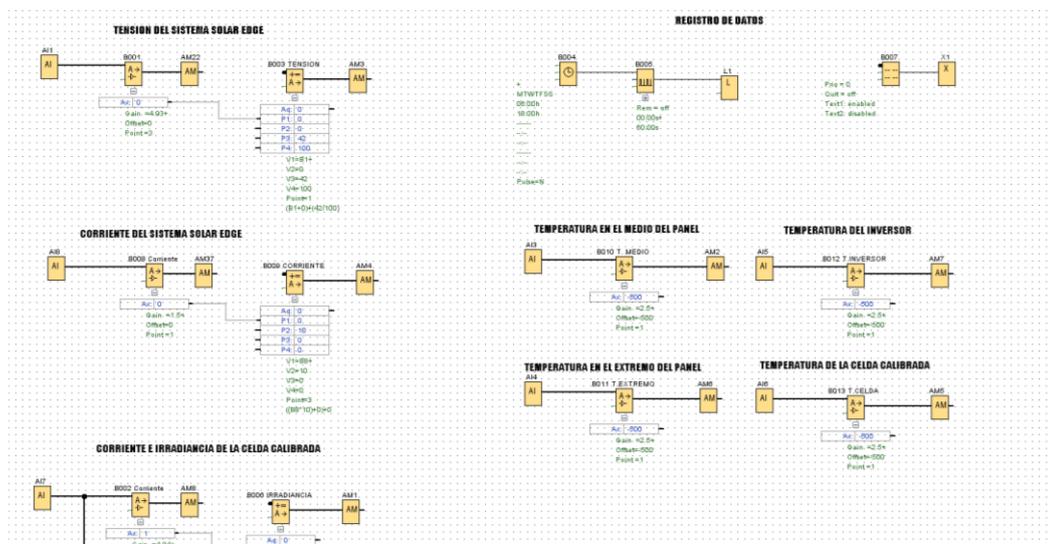


Figura 18. Diagrama de procesamiento de datos en el Logo Soft Comfort

e. Diseño e implementación del sistema de monitoreo basada en una solución IoT

El diseño del sistema de monitoreo de la instalación fotovoltaica se hizo con la plataforma IoT seleccionada en base a los resultados obtenidos en la sección 4.1. Los datos meteorológicos y eléctricos proporcionados por la instalación fotovoltaica fueron transformados por el PLC que se integró a un dispositivo IoT Raspberry Pi 4 al que se le instaló la aplicación de código abierto Node-RED basado en node.js, este software es un pasarela que permite la recepción de datos del PLC, la transformación, generación de un nuevo parámetro y el acondicionamiento de datos en formato JSON para su envío al servicio en la nube, en el servicio IoT se desarrolló la aplicación que ingesta telemetría y metadatos provenientes del dispositivo en tiempo real, esta aplicación muestra los datos históricos, los

últimos datos actualizados en paneles, gráficos en paneles, posibilita el análisis de datos y su descarga en un entorno local, exporta la telemetría a un almacén los que pueden ser descargados y analizados con mayor flexibilidad, en el anexo 4 se visualiza la conexión física del sistema de monitoreo.

f. Costo de la implementación y mantenimiento del sistema de monitoreo

El sistema de monitoreo es considerado desde la implementación del Raspberry Pi 4 el que aloja a la puerta de enlace y se conecta con el sistema de adquisición de datos, detallándose los costos de implementación y monitoreo en la tabla 3.

Tabla 3. *Detalle de costos de la solución propuesta*

Concepto	Cantidad	Precio
Raspberry Pi 4 modelo B	Unidad	S/. 410.00
Cable ethernet	1 metro	S/. 5.00
Case con sistema de refrigeración	Unidad	S/. 100.00
Licencia Azure IoT Central	1 año	S/. 0.00
Licencia Azure Blob Storage	1 año	S/. 30.00
Router	Unidad	S/. 500.00
Servicio de Internet	1 año	S/. 360.00
Total	1 año	S/. 1405.00

3.5.3 METODOLOGÍA PARA EVALUAR LA FUNCIONALIDAD DEL SISTEMA PROPUESTO

El sistema propuesto luego de ser implementado se monitorizo la conectividad del dispositivo IoT, la temperatura, la inicialización automática en caso de cortes de fluido eléctrico, además se superviso la telemetría enviada, la exportación de datos, el almacenaje de datos, la asignación de usuarios y reglas según lo configurado. Se evaluó la solución Node-RED/Azure IoT Central en base a los retos que enfrentan típicamente las instalaciones fotovoltaicas, como la interoperabilidad, gestión, seguridad, procesamiento, escalabilidad y costo.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 COMPARACIÓN DE LAS PLATAFORMAS Y SERVICIOS EN LA NUBE

En la tabla 3 se presenta los resultados de evaluación de los principales servicios IoT en función a las necesidades en la monitorización de sistemas fotovoltaicos mencionados por de Arquer et al., (2021).

Tabla 4. *Evaluación de los principales servicios IoT*

Servicio IoT	Interoperabilidad	Gestión	Seguridad	Procesamiento	Escalabilidad	Costo Mensual
IBM Watson IoT Platform	✓	✓		✓	✓	\$ 2875.00, 5000 dispositivos y 1000000 de sucesos Capa gratuita: 500 dispositivos y 200MB/dispositivo
AWS IoT	✓		✓	✓	✓	\$ 1876.60, 100000 dispositivos y 975 000 000 mensajes Capa gratuita: 50 dispositivos y 45MB/dispositivo
Azure IoT Hub	✓	✓	✓	✓	✓	\$2500.00, 300000000 mensajes. Capa gratuita: 8000 mensajes. 0.5KB/mensaje
Azure IoT Central	✓	✓	✓	✓	✓	\$ 0.7/ dispositivo, 30000 mensajes Capa gratuita: 7 días
Cloud IoT Core	✓		✓	✓	✓	\$ 0.0045/MB, el tamaño mínimo de

						un mensaje es 1024 bytes. Capa gratuita: 250MB
Ubidots	✓	✓	✓	✓	✓	\$ 199.00, 200 dispositivos y 15000000 de puntos. Capa gratuita: 30 días.
Kaa IoT	✓	✓	✓	✓	✓	\$ 9.99, 5 dispositivos. Capa gratuita: 30 días.
Arduino IoT Cloud		✓		✓	✓	\$ 5.99, 25 dispositivos. Capa gratuita: 2 dispositivos
ThingSpeak	✓	✓		✓	✓	\$ 3.75, 10 canales. Capa gratuita: 4 canales y 246000 mensajes.

Al comparar estos servicios IoT la mayoría ofrece servicios que cumplen lo requerido, siendo el factor decisivo las funcionalidades ofrecidas y el costo, eligiéndose finalmente el servicio Azure IoT Central, por la facilidad que tiene en la implementación de la aplicación en la nube y el bajo costo, ya que el servicio estándar que ofrece también nos brinda la conectividad gratuita de 2 dispositivos con 60 000 mensajes.

4.2 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA CONECTADA A LA RED

4.2.1 HARDWARE

Para esta solución se utilizó el PLC LOGO! 8.3 que por sí misma puede conectarse a la nube de AWS, pero se adoptó por una solución más flexible, sencilla y de menor costo. Se comunicó el LOGO! 8.3 con el Raspberry Pi 4 mediante un cable Ethernet usando la comunicación S7 IP/TCP y el Raspberry Pi 4 se conectó a internet mediante una señal WiFi.

4.2.2 CONEXIÓN DEL LOGO! 8.3 CON EL RASPBERRY PI 4

Para envío de los datos del El LOGO! 8.3 al Raspberry Pi 4 mediante el canal de comunicación S7 IP/TCP se habilitó esta conexión en el LOGO! 8.3 con ayuda del Logo Soft Comfort, por otra parte, en el Raspberry Pi 4 se habilitó la conexión en el Node-RED con nodo s7-in. Los datos provenientes del LOGO! 8.3 son números con decimales, pero el decimal no es posible visualizarlo por lo que en el Node-RED se transforma estos datos para que estén dotados de sus respectivos decimales.

4.2.3 MONITOREO DEL RENDIMIENTO DEL DISPOSITIVO RASPBERRY PI 4

El dispositivo Raspberry Pi 4 trabaja las 24 horas del día y 7 días a la semana, por lo que fue muy importante monitorizar la temperatura del chip y de la memoria RAM que suelen calentarse de acuerdo a los procesos realizados y la temperatura de la intemperie, aunque al dispositivo se le había incorporado un sistema de refrigeración era necesario supervisar su temperatura en las horas de mayor temperatura que suele ser de 11:00am a 3:00pm, se superó este desafío con la ayuda del software VNC connect que permite la supervisión del dispositivo y el uso de este de manera remota ya sea en un entorno local o a través de internet, así se puede supervisar la temperatura del dispositivo, programar y realizar actualizaciones según lo requerido.

El lugar en donde está localizado la instalación solar suele darse apagones recurrentes o también los técnicos hacen mantenimientos periódicos y tomas de información que cortan la energía al Raspberry Pi 4, por lo que fue necesario implementar el inicio del node-RED de forma automática cada vez que se encienda y pueda enviar información sin necesidad de ser inicializado por una persona.

4.2.4 ENVIÓ DE DATOS A IOT CENTRAL

Para enviar telemetría de Node-RED a IoT central, en la aplicación Node-RED se transformó los datos en formato JSON, se implementó una variable más la “potencia” que se obtuvo multiplicando la variable corriente con el voltaje, además se programó el envío de datos a IoT central solo cuando se obtiene energía del sol, evitándose así el envío de datos en la noche; en el anexo 5 se muestra esta programación realizada en el nodo function. Los datos son enviados en intervalos de tiempo de 1 minuto, la conexión se realizó con ayuda del nodo Azure IoT Central, realizando las configuraciones de autenticación con el token de firma de acceso compartido (SAS) y el canal de comunicación es MQTT, en la figura 19 se muestran

los nodos utilizados y su conexión, en la figura 20 se muestra la autenticación del Node-RED para conectarse al IoT Central.

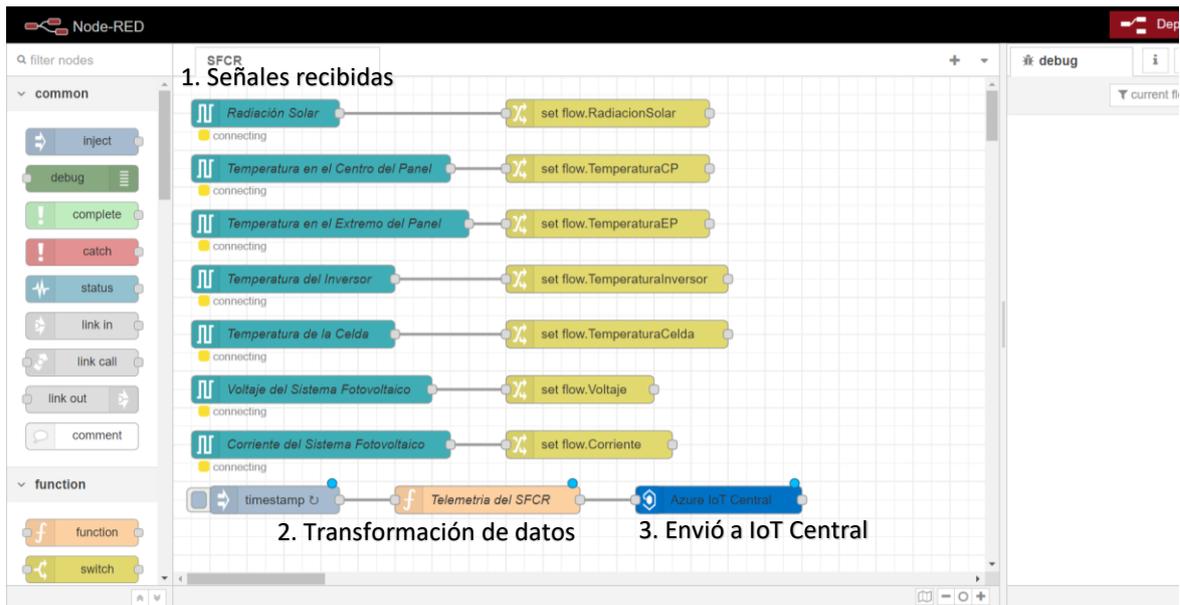


Figura 19. Flujo de trabajo en Node-RED

The screenshot shows the "Edit Azure IoT Central node" configuration dialog. It includes the following fields and options:

- Delete:** A button to delete the node.
- Cancel:** A button to cancel the configuration.
- Done:** A red button to save the configuration.
- Properties:** A section with a gear icon and a list of configuration options:
 - Transport:** Set to "MQTT".
 - Authentication:** Set to "SAS".
 - Scope ID:** "One004E4D22".
 - Device ID:** "Raspberry1".
 - Primary Key:** "MBB5/Hde5/ulgy+INknyJNFI/OwWw/Cqd1bDNç".
 - Command Name:** Three empty text boxes with the placeholder "Insert the command name of your model interfac".
 - Command:** An empty text box.
- Enabled:** A radio button that is currently selected.

Figura 20. Conexión de Node-RED con Azure IoT Central

En la aplicación de IoT Central se desarrolló los paneles a mostrarse, análisis de datos y roles de usuarios a usar el servicio, el servicio guarda los datos por el periodo de un mes, y se pueden descargar los datos analizados en formato csv; en la figura 21 se muestra el panel de

control. Para almacenar los datos por un tiempo indefinido se exporta los datos cada minuto al almacén de datos Azure Blob Storage en formato JSON.

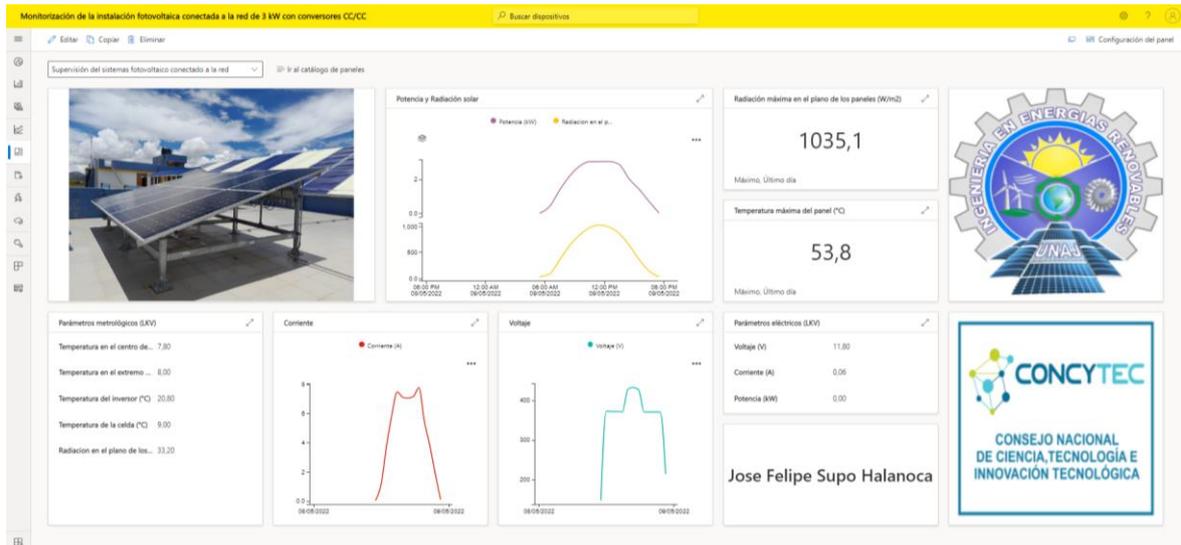


Figura 21. Panel de control del sistema de monitoreo en Azure IoT Central

Los datos antes de ser exportados a Azure Blob Storage deben ser transformados, para que se almacenen datos únicamente de la telemetría enviada por el dispositivo y el timestamp, quitando los metadatos y la identificación del dispositivo dotado por IoT Central, en los siguientes puntos se muestra la programación realizada para lograr este fin, el mensaje de entrada muestra en formato JSON la estructura del mensaje a exportarse, la compilación de la consulta de transformación muestra las modificaciones que se hicieron al mensaje de entrada y por último la vista previa del mensaje de salida nos muestra cómo se exportaran finalmente los datos luego de la modificación hecha.

- **Mensaje de entrada**

```
"applicationId": "b98b00aa-1582-4aa7-8015-f8cb35120af2",
```

```
"enqueuedTime": "1964-03-16T08:49:14.839164259Z",
```

```
"messageSource": "telemetry",
```

```
"telemetry": [
```

```
{
  "id":
```

```
"dtmi:monitorizaciondelainstalacionfotovoltaicaconectadaalare:raspberrypi4:TemperaturaEnElCentroDelPanel;1",
```

```
  "name": "TemperaturaEnElCentroDelPanel",
```

```
  "value": 1.0938292275314264e+308
```

```
},
```

```

{
  "id":
"dtmi:monitorizaciondelainstalacionfotovoltaiacaconectadaalare:raspberrypi4:TemperaturaEnElExtremo
DelPanel;1",
  "name": "TemperaturaEnElExtremoDelPanel",
  "value": 1.209154491352934e+308
},
{
  "id":
"dtmi:monitorizaciondelainstalacionfotovoltaiacaconectadaalare:raspberrypi4:TemperaturaDelInversor;1",
  "name": "TemperaturaDelInversor",
  "value": 1.6350023859356923e+308
},
{
  "id":
"dtmi:monitorizaciondelainstalacionfotovoltaiacaconectadaalare:raspberrypi4:TemperaturaDeLaCelda;1",
  "name": "TemperaturaDeLaCelda",
  "value": 1.453097085832663e+308
},
{
  "id": "dtmi:monitorizaciondelainstalacionfotovoltaiacaconectadaalare:raspberrypi4:Voltaje;1",
  "name": "Voltaje",
  "value": 1.0421904975777819e+308
},
{
  "id": "dtmi:monitorizaciondelainstalacionfotovoltaiacaconectadaalare:raspberrypi4:Corriente;1",
  "name": "Corriente",
  "value": 9.362347014488592e+307
},
{
  "id": "dtmi:monitorizaciondelainstalacionfotovoltaiacaconectadaalare:raspberrypi4:Potencia;1",
  "name": "Potencia",
  "value": 7.343087259871215e+307
},
{

```

```

    "id":
"dtmi:monitorizaciondelainstalacionfotovoltaiacaconectadaalare:raspberrypi4:RadiacionEnElPlanoDeLos
sPaneles;1",
    "name": "RadiacionEnElPlanoDeLosPaneles",
    "value": 1.2793751678591925e+308
  }
],
"device": {
  "id": "hlvnwf9q8mdj",
  "name": "digital matrix",
  "templateId":
"dtmi:modelDefinition:monitorizaciondelainstalacionfotovoltaiacaconectadaalare:raspberrypi4;1",
  "templateName": "Raspberry Pi 4",
  "properties": {
    "reported": []
  },
  "cloudProperties": [],
  "simulated": true,
  "approved": true,
  "blocked": false,
  "provisioned": true
}
}

```

- **Compilación de la consulta de transformación**

```

import "iots" as iots;
{
  Timestamp: .enqueuedTime,
  RadiacionEnElPlanoDeLosPaneles: .telemetry | iots::find(.name ==
"RadiacionEnElPlanoDeLosPaneles").value,
  TemperaturaEnElCentroDelPanel: .telemetry | iots::find(.name ==
"TemperaturaEnElCentroDelPanel").value,
  TemperaturaEnElExtremoDelPanel: .telemetry | iots::find(.name ==
"TemperaturaEnElExtremoDelPanel").value,
  TemperaturaDelInversor: .telemetry | iots::find(.name == "TemperaturaDelInversor").value,
  TemperaturaDeLaCelda: .telemetry | iots::find(.name == "TemperaturaDeLaCelda").value,
  Voltaje: .telemetry | iots::find(.name == "Voltaje").value,
  Corriente: .telemetry | iots::find(.name == "Corriente").value,
  Potencia: .telemetry | iots::find(.name == "Potencia").value
}

```

```

}
  • Vista previa del mensaje de salida
{
"Corriente": 9.362347014488592e+307,
"Potencia": 7.343087259871215e+307,
"RadiacionEnElPlanoDeLosPaneles": 1.2793751678591925e+308,
"TemperaturaDeLaCelda": 1.453097085832663e+308,
"TemperaturaDelInversor": 1.6350023859356923e+308,
"TemperaturaEnElCentroDelPanel": 1.0938292275314264e+308,
"TemperaturaEnElExtremoDelPanel": 1.209154491352934e+308,
"Timestamp": "1964-03-16T08:49:14.839164259Z",
"Voltaje": 1.0421904975777819e+308
}

```

4.2.5 EXPORTACIÓN DE DATOS A AZURE BLOB STORAGE

Se exporto los datos de IoT central a Azure Blob Storage utilizando la autorización *Identidad administrada por el sistema*, (Microsoft, 2022) indica que este tipo de conexión es más segura porque:

- No se almacenan las credenciales del recurso en una cadena de conexión en la aplicación de IoT Central.
- Las credenciales se vinculan automáticamente a la vigencia de la aplicación IoT Central.
- Las identidades administradas rotan periódicamente sus claves de seguridad.

Los datos importados de IoT central a Blob Storage se guardan en un Blob llamado *datosfotovoltaicos* las que se guardan en subcarpetas de acuerdo al año, mes, día, hora y minuto; en la figura 22 se muestra el servicio en la nube Azure Blob Storage . El servicio Blob Storage tiene una aplicación para escritorio llamada **Microsoft Azure Storage Explorer** la que tiene más herramientas que la aplicación en la nube como por ejemplo descargar todos los archivos de un blob en una sola descarga; en la figura 23 se muestra la aplicación para escritorio de Azure Blob Storage.

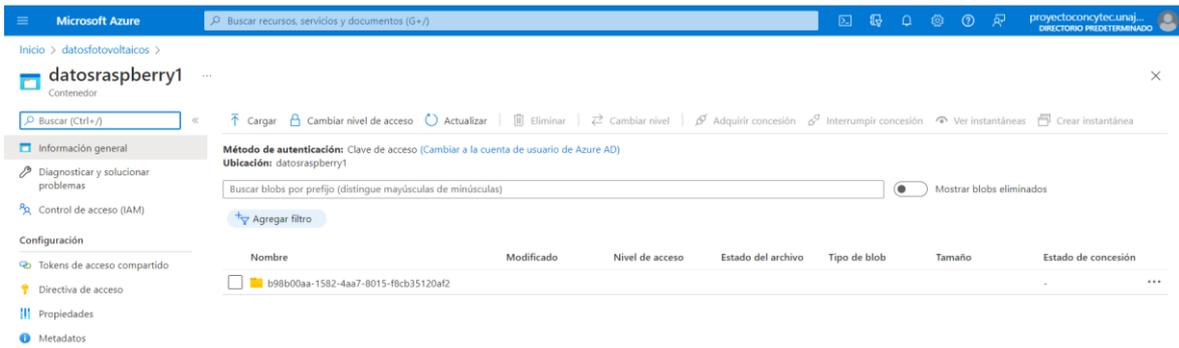


Figura 22. Servicio de Almacén de datos Azure Blob Storage alojado en la nube

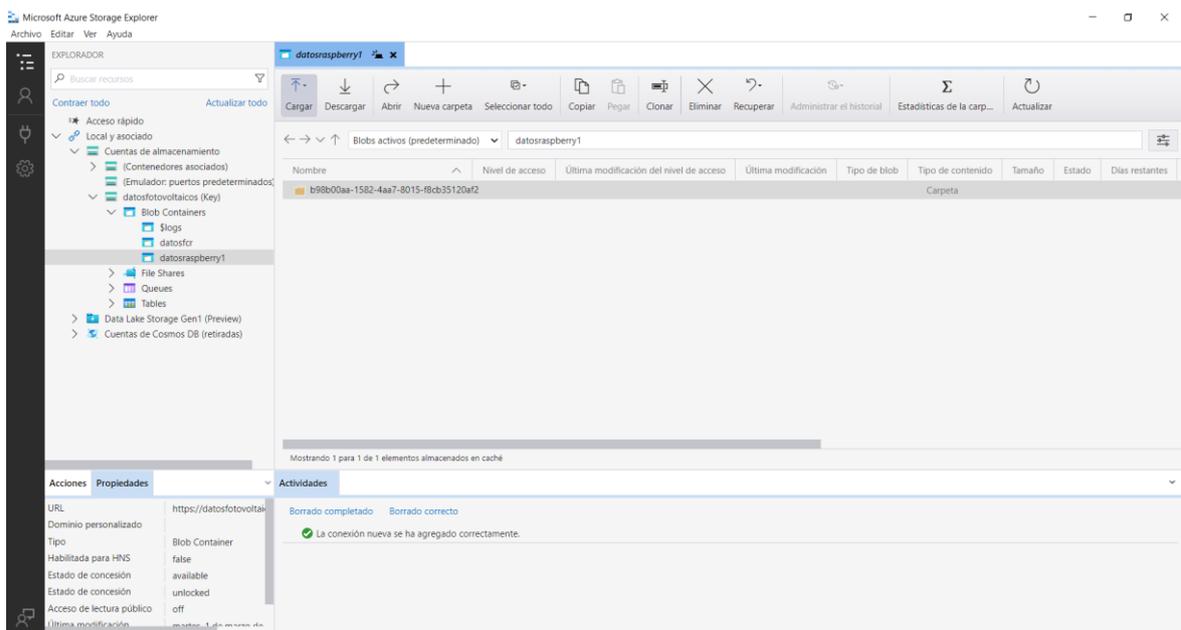


Figura 23. Aplicación para escritorio de Azure Blob Storage

4.2.6 PROCESAMIENTO DE DATOS EN POWER BI

Power BI tiene la capacidad de ingestar datos directamente desde el servicio en la nube Blob Storage, pero IoT central exporta a este servicio archivos sin extensión, por tal razón Power BI no puede reconocer los datos directamente como archivo JSON y no procesa correctamente los datos como una tabla, por esta razón es que se descarga la carpeta de archivos que se encuentra en el contenedor *datosraspberry1* al ordenador de escritorio, una vez descargada la carpeta se puede visualizar que los archivos se encuentran en múltiples subcarpetas por lo que agregar la extensión json a cada archivo demandaría demasiado tiempo, para solucionar este problema se creó un archivo batch que automatiza todo el proceso de agregar la extensión json a todos los archivos; en la figura 24 se muestra la programación hecha en un block de notas.

```

Archivo Edición Formato Ver Ayuda
@ECHO OFF
PUSHD .
FOR /R %%d IN (.) DO (
cd "%%d"
IF EXIST *. (
REN *. *.json
)
)
POPD

```

Figura 24. Programación del archivo batch

En Power BI se obtuvieron los datos del día 08 de marzo del 2022 a través del editor de Power Query, donde se ordenaron y eliminaron columnas para ser analizadas; en la figura 25 se muestra el análisis de datos en el editor Power Query.

Source.Name	Timestamp	RadiacionEnElPlanoDeLosPaneles	TemperaturaEnElCentroDelPanel	TemperaturaEnElExtremoDelPanel	TemperaturaDeLaCelda	TemperaturaDelInversor	Voltaje	Corriente	Potencia
ham15qzng6uoi.json	8/03/2022 05:43:45	33.2	23.8	2	2.5	6.5	68.5	0.06	0.00
ham15qzng6uoi.json	8/03/2022 05:44:45	33.2	23.8	2	2.5	6.5	66.1	0.05	0.003
ham15qzng6uoi.json	8/03/2022 05:45:45	33.2	23.8	2	2.5	6.5	269.1	0.05	0.008
ham15qzng6uoi.json	8/03/2022 05:46:45	33.2	23.8	2	2.5	6.5	287.4	0.05	0.01
ham15qzng6uoi.json	8/03/2022 05:47:45	33.2	23.8	2	2.5	6.5	269.7	0.05	0.013
ham15qzng6uoi.json	8/03/2022 05:48:45	33.2	23.5	2	2.9	6.5	282.5	0.05	0.014
ham15qzng6uoi.json	8/03/2022 05:49:45	33.2	23.5	2	2.9	6.8	300.2	0.05	0.01
ham15qzng6uoi.json	8/03/2022 05:50:45	33.2	23.5	2	2.9	6.8	373.7	0.05	0.018
ham15qzng6uoi.json	8/03/2022 05:51:45	33.2	23.5	2	2	6.8	371.7	0.06	0.022
ham15qzng6uoi.json	8/03/2022 05:52:45	33.2	23.3	2	2	7	371.2	0.06	0.022
ham15qzng6uoi.json	8/03/2022 05:53:45	33.2	23.3	1	2	7	371.2	0.06	0.022
ham15qzng6uoi.json	8/03/2022 05:54:45	33.2	23.3	1	2	7.3	371.7	0.06	0.022
ham15qzng6uoi.json	8/03/2022 05:55:45	33.2	23.3	2	2	7.3	371.2	0.08	0.029
ham15qzng6uoi.json	8/03/2022 05:56:45	33.2	23.3	2	2	7.3	448.6	0.05	0.02
ham15qzng6uoi.json	8/03/2022 05:57:45	33.2	23.3	2	2	7.5	371.2	0.09	0.033
ham15qzng6uoi.json	8/03/2022 05:58:45	33.2	23.3	2	2	7.5	371.7	0.09	0.033
ham15qzng6uoi.json	8/03/2022 05:59:45	33.2	23.3	2	2	7.5	371.2	0.11	0.040
ham15qzng6uoi.json	8/03/2022 06:00:45	33.2	23.3	2	2	7.8	371.2	0.11	0.040
ham15qzng6uoi.json	8/03/2022 06:01:45	33.2	23.3	1	2	7.8	371.2	0.12	0.044
ham15qzng6uoi.json	8/03/2022 06:02:45	33.2	23.3	1	2	7.8	420	0.05	0.
ham15qzng6uoi.json	8/03/2022 06:03:45	33.2	23.3	1	1.8	8	371.2	0.14	0.051
ham15qzng6uoi.json	8/03/2022 06:04:45	33.2	23.3	1	1.8	8	371.2	0.15	0.05
ham15qzng6uoi.json	8/03/2022 06:05:45	33.2	23.3	1	1.8	8	371.2	0.17	0.063
ham15qzng6uoi.json	8/03/2022 06:06:45	33.2	23.3	1	1.8	8.3	371.2	0.17	0.063
ham15qzng6uoi.json	8/03/2022 06:07:45	33.2	23.3	1	1.8	8.3	371.2	0.18	0.066
ham15qzng6uoi.json	8/03/2022 06:08:45	33.2	23.3	1	1.8	8.3	371.2	0.18	0.066
ham15qzng6uoi.json	8/03/2022 06:09:45	33.2	23.3	1	1.8	8.5	371.7	0.2	0.07

Figura 25. Análisis de datos en Power BI

Una vez transformados los datos en el editor de Power Query se aplicaron estos cambios en Power BI, donde se obtuvo la energía producida por la instalación fotovoltaica a partir de la Potencia. Aguilar, Perez, De la Casa y Rus, (2010) proponen la siguiente ecuación para la estimación de la energía generada en un día.

$$E = \int_{\text{día}} P(t) dt \approx \sum_{j=1}^N P_j \cdot \Delta t$$

Donde el número total de valores $N= 24$ y la variación del tiempo $\Delta t=1$ hora. Esta ecuación se adaptó para este caso particular donde los datos se toman en intervalos de tiempo de 1 minuto, realizándose la aproximación con la siguiente ecuación

$$E = \int_{\text{día}} P(t)dt \approx \sum_{i=1}^N \frac{P_i}{60} \cdot \Delta t \quad (1)$$

Donde:

E: Energía expresada en kWh

P(t): Potencia en kW

Pi: son los valores de potencia tomados en intervalos de 1 minuto

N= Numero total de valores tomados en un día

Δt : 1 minuto

Para el cálculo de la energía en Power BI se añadió una medida en base a la ecuación (1), esta medida se agrego con la siguiente ecuación:

Energía = `CALCULATE(SUM('08'[Potencia]), FILTER(ALL('08'), '08'[Timestamp] <= MAX('08'[Timestamp])))`/60

La aplicación Power Bi cuenta con una gran variedad de gráficos y análisis de datos que nos permitió presentar los análisis de datos en visualizaciones gráficas intuitivas del día 08 de marzo del 2022. En la figura 26 se muestra una gráfica en corriente continua de la potencia de la instalación fotovoltaica comparado con la irradiancia en el plano de la inclinación de los paneles solares de la instalación, evidenciándose lo determinante que es la irradiación sobre la potencia del generador.

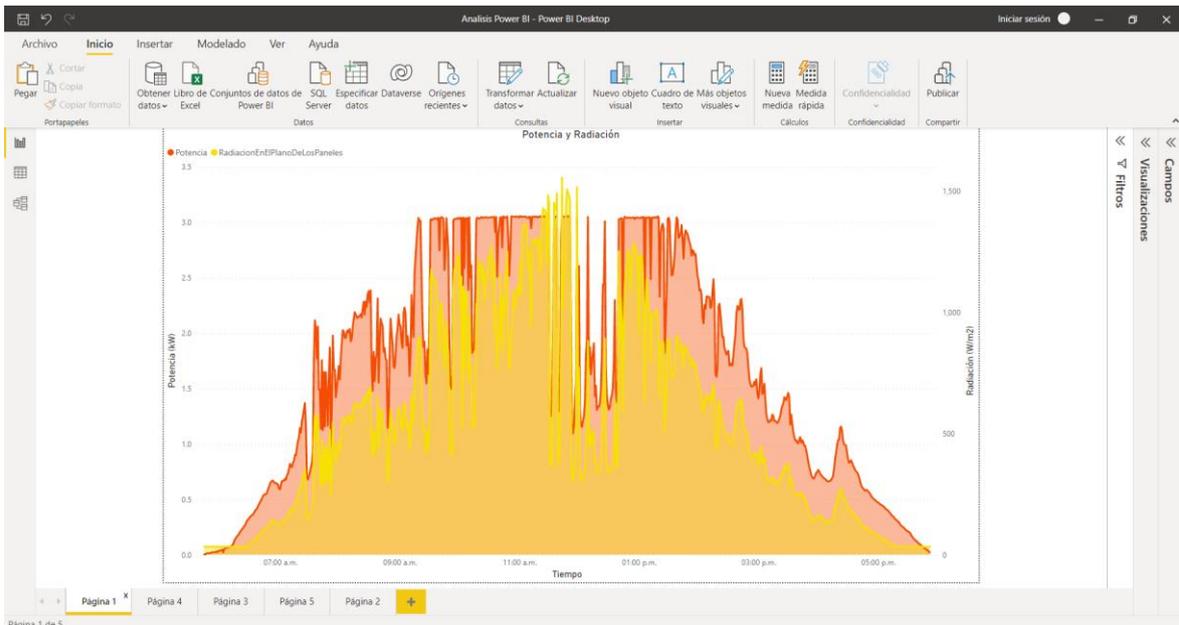


Figura 26. Análisis grafico en Power BI de la potencia e irradiancia

En la figura 27 se muestra la potencia en corriente continua de la instalación fotovoltaica con respecto a la energía en corriente continua que proporciona el generador.

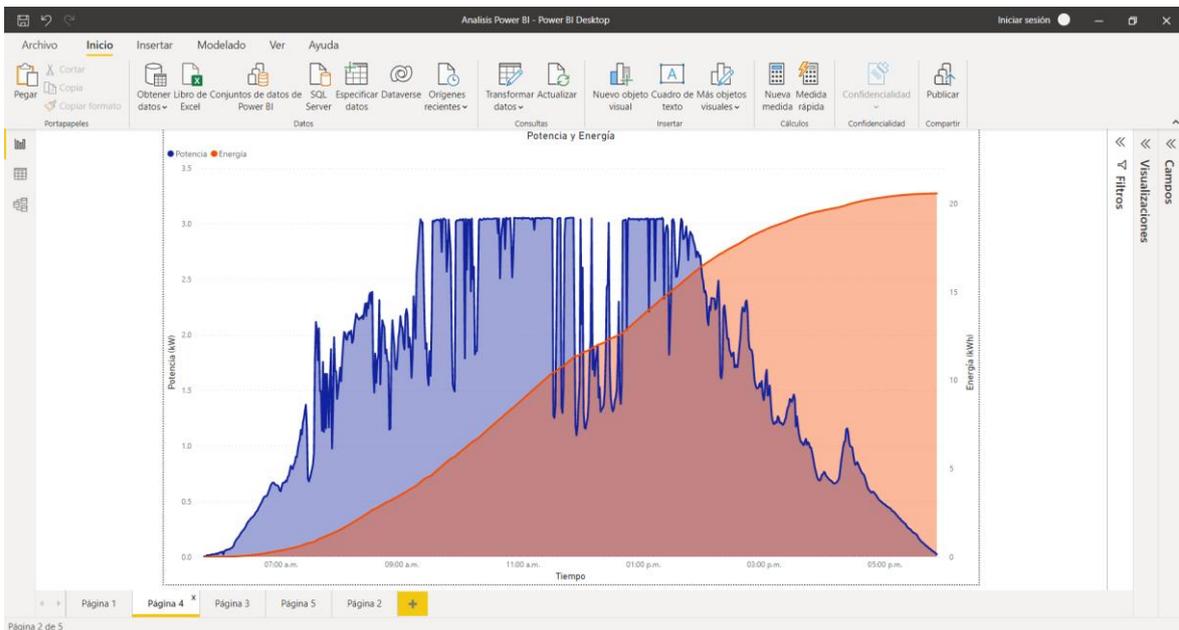


Figura 27. Análisis grafico en Power BI de la potencia y energía

En la figura 28 se muestra la irradiancia en el plano de los módulos fotovoltaicos de la instalación con respecto a la intensidad de corriente continua producida por el generador, observándose lo relacionados que están estas curvas, por lo que también es oportuno hacer un análisis de dispersión para ver la influencia de la radiación en la corriente generada.

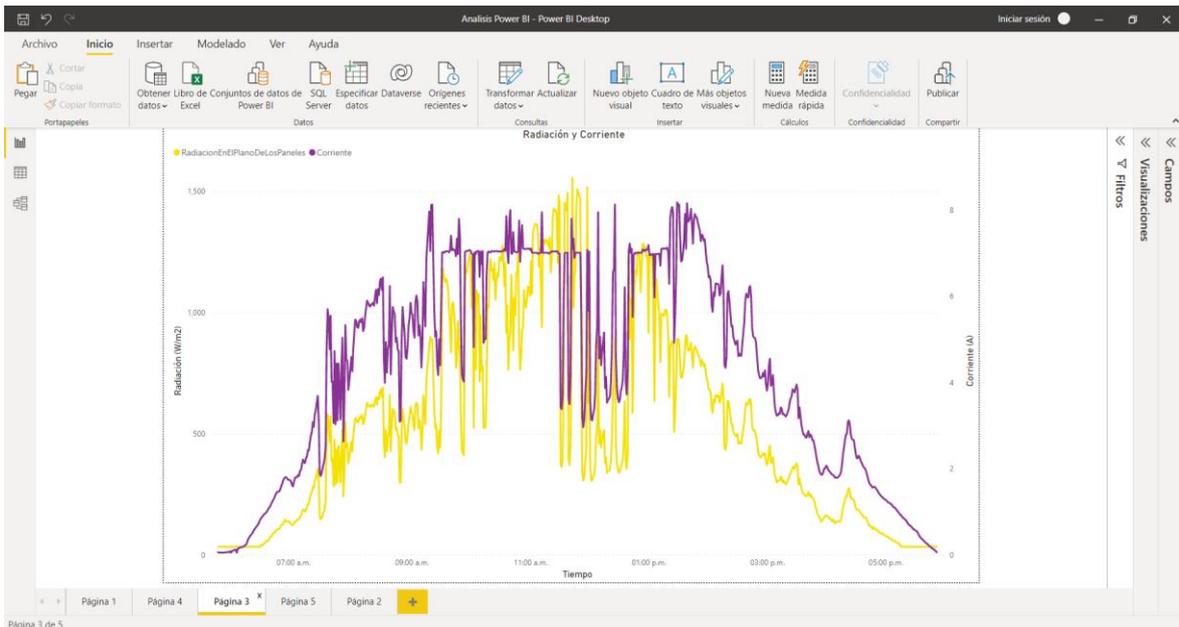


Figura 28. Análisis grafico en Power BI de la irradiancia y la corriente

En la figura 29 se muestra la temperatura en el centro de un panel de la instalación fotovoltaica con respecto al voltaje total de la instalación, la temperatura afecta al voltaje generado en los paneles, por lo que se puede observar que el pico más alto de tensión de voltaje del SFCR es 448.6V cuando el panel está a 23.3°C de temperatura, siendo esta la temperatura más baja que presenta el panel durante el día cuando el sol está saliendo.

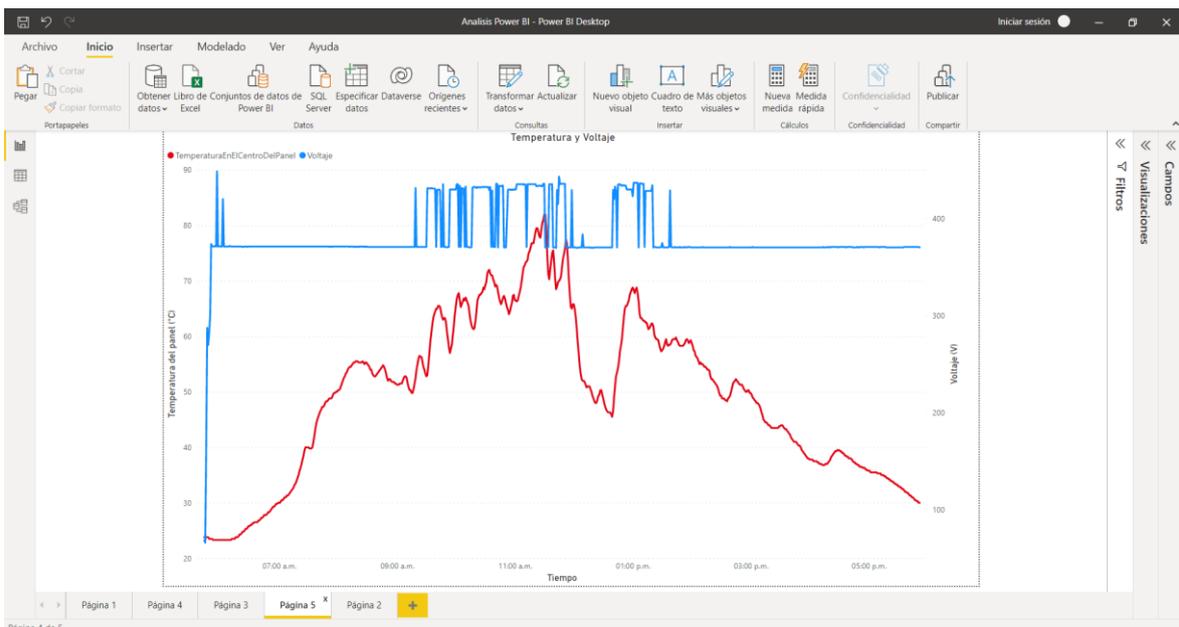


Figura 29. Análisis grafico en Power BI de la temperatura y el voltaje

Finalmente, en la última página del Power BI generamos una tabla con todos los datos de interés que se pueden colocar con columnas ordenadas para su exportación a una base de

datos local o en la nube, cada una de las visualizaciones se puede exportar en un archivo de extensión csv o se puede exportar todo un informe en formato pdf, el que es muy conveniente para presentaciones rápidas; en la figura 30 se muestra la página de Power BI donde se generó la tabla.

Timestamp	RadiaciónEnElPlanoDeLosPaneles	TemperaturaEnElCentroDelPanel	TemperaturaEnElExtremoDelPanel	TemperaturaDeLaCelda	TemperaturaDelInversor	Voltage
08/03/2022 05:43:45 a.m.	33.20	23.80	2	2.50	6.50	68.50
08/03/2022 05:44:45 a.m.	33.20	23.80	2	2.50	6.50	66.10
08/03/2022 05:45:45 a.m.	33.20	23.80	2	2.50	6.50	169.10
08/03/2022 05:46:45 a.m.	33.20	23.80	2	2.50	6.50	287.40
08/03/2022 05:47:45 a.m.	33.20	23.80	2	2.50	6.50	269.70
08/03/2022 05:48:45 a.m.	33.20	23.50	2	2.30	6.50	202.50
08/03/2022 05:49:45 a.m.	33.20	23.50	2	2.30	6.80	300.20
08/03/2022 05:50:45 a.m.	33.20	23.50	2	2.30	6.80	373.70
08/03/2022 05:51:45 a.m.	33.20	23.50	2	2.00	6.80	371.70
08/03/2022 05:52:45 a.m.	33.20	23.30	2	2.00	7.00	371.20
08/03/2022 05:53:45 a.m.	33.20	23.30	1	2.00	7.00	371.20
08/03/2022 05:54:45 a.m.	33.20	23.30	1	2.00	7.30	371.70
08/03/2022 05:55:45 a.m.	33.20	23.30	2	2.00	7.30	371.20
08/03/2022 05:56:45 a.m.	33.20	23.30	2	2.00	7.30	448.60
08/03/2022 05:57:45 a.m.	33.20	23.30	2	2.00	7.50	371.20
08/03/2022 05:58:45 a.m.	33.20	23.30	2	2.00	7.50	371.70
08/03/2022 05:59:45 a.m.	33.20	23.30	2	2.00	7.50	371.20
08/03/2022 06:00:45 a.m.	33.20	23.30	2	2.00	7.80	371.20
08/03/2022 06:01:45 a.m.	33.20	23.30	1	2.00	7.80	371.20
08/03/2022 06:02:45 a.m.	33.20	23.30	1	2.00	7.80	420.00
08/03/2022 06:03:45 a.m.	33.20	23.30	1	1.80	8.00	371.20
08/03/2022 06:04:45 a.m.	33.20	23.30	1	1.80	8.00	371.20
08/03/2022 06:05:45 a.m.	33.20	23.30	1	1.80	8.00	371.20
08/03/2022 06:06:45 a.m.	33.20	23.30	1	1.80	8.30	371.20
08/03/2022 06:07:45 a.m.	33.20	23.30	1	1.80	8.30	371.20
08/03/2022 06:08:45 a.m.	33.20	23.30	1	1.80	8.30	371.20
08/03/2022 06:09:45 a.m.	33.20	23.30	1	1.80	8.50	371.70
08/03/2022 06:10:45 a.m.	33.20	23.30	2	2.00	8.50	371.20
08/03/2022 06:11:45 a.m.	33.20	23.50	2	2.00	8.50	371.20
08/03/2022 06:12:45 a.m.	33.20	23.50	2	2.00	8.50	371.20
08/03/2022 06:13:45 a.m.	33.20	23.50	2	2.00	8.80	371.20
Total	384,887.30	36,023.50	18795	18,499.10	15,837.60	278,231.30

Figura 30. Generación del parámetro energía a partir de la potencia y el tiempo en Power BI

4.2.7 ALMACENAMIENTO DE DATOS EN AZURE SQL DATABASE

Los archivos generados luego del análisis en Power Bi se pueden subir al mismo almacén de datos Azure Blob Storage u otra opción es subir a SQL Database ya que se pueden guardar datos relacionales como tablas y visualizarlos rápidamente además de múltiples herramientas que ofrece este servicio si se quiere escalar a construir una aplicación en Microsoft Power App.

La tabla generada en Power BI se guardó en formato csv, este archivo se subió al servicio en la nube Azure SQL Database mediante la aplicación de escritorio Microsoft SQL Server Management Studio; en la figura 31 se muestra el servicio en la nube Azure SQL Database, en la figura 32 se muestra la aplicación de escritorio para Azure SQL Database denominado SQL Server Management Studio y en la figura 33 se muestra la arquitectura del sistema de monitoreo propuesto para la instalación fotovoltaica conectada a la red.

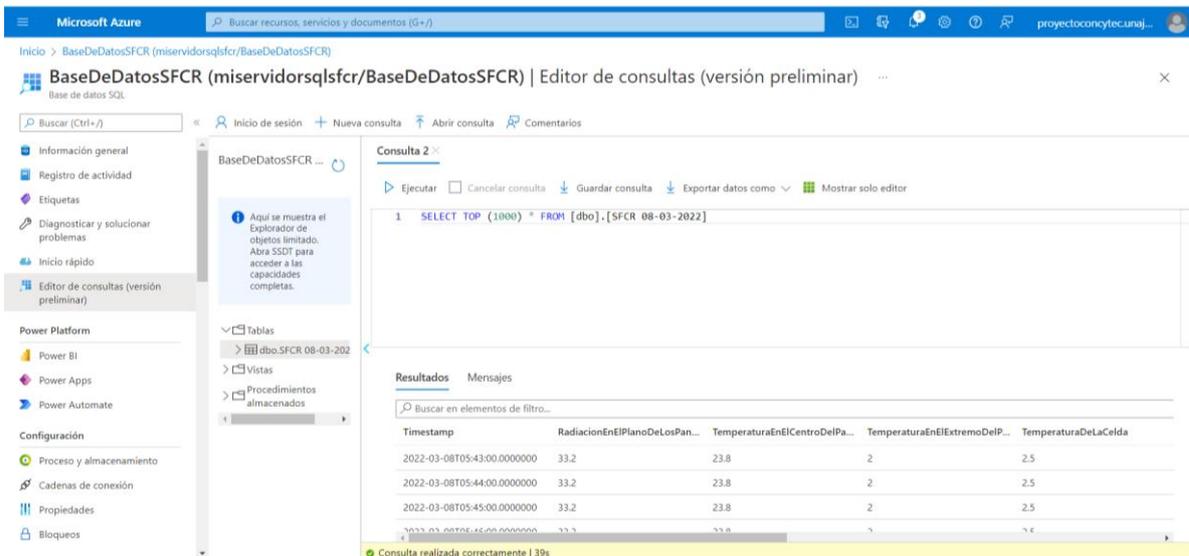


Figura 31. Servicio en la nube Azure SQL Database

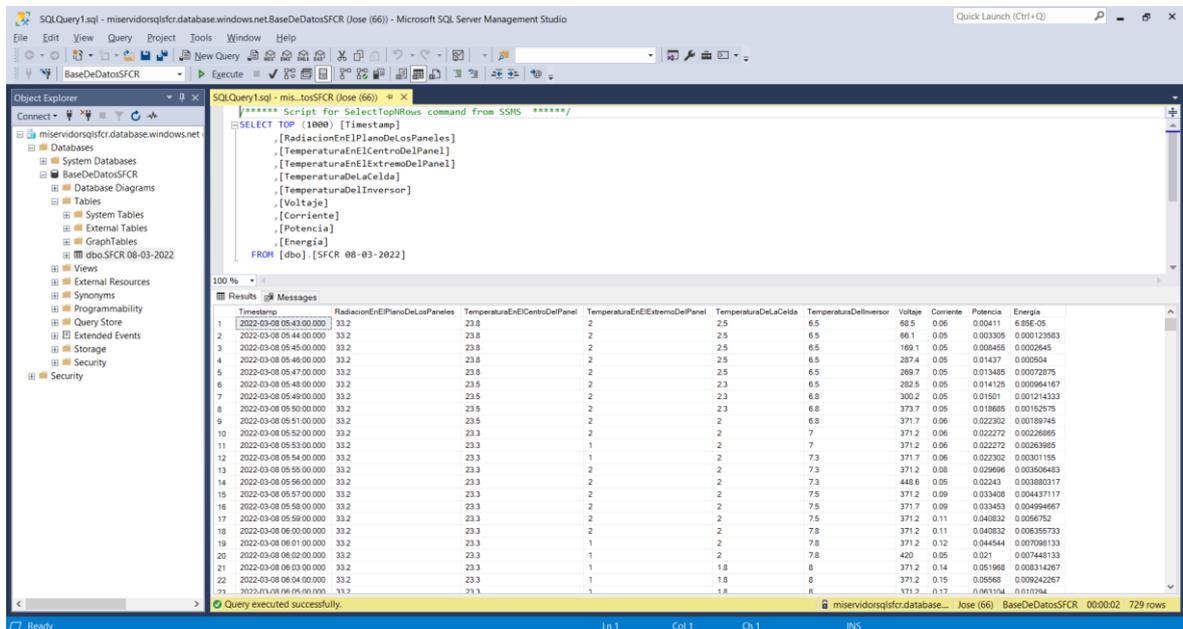


Figura 32. Almacenamiento de datos relacionales desde la aplicación para escritorio de Azure SQL Database

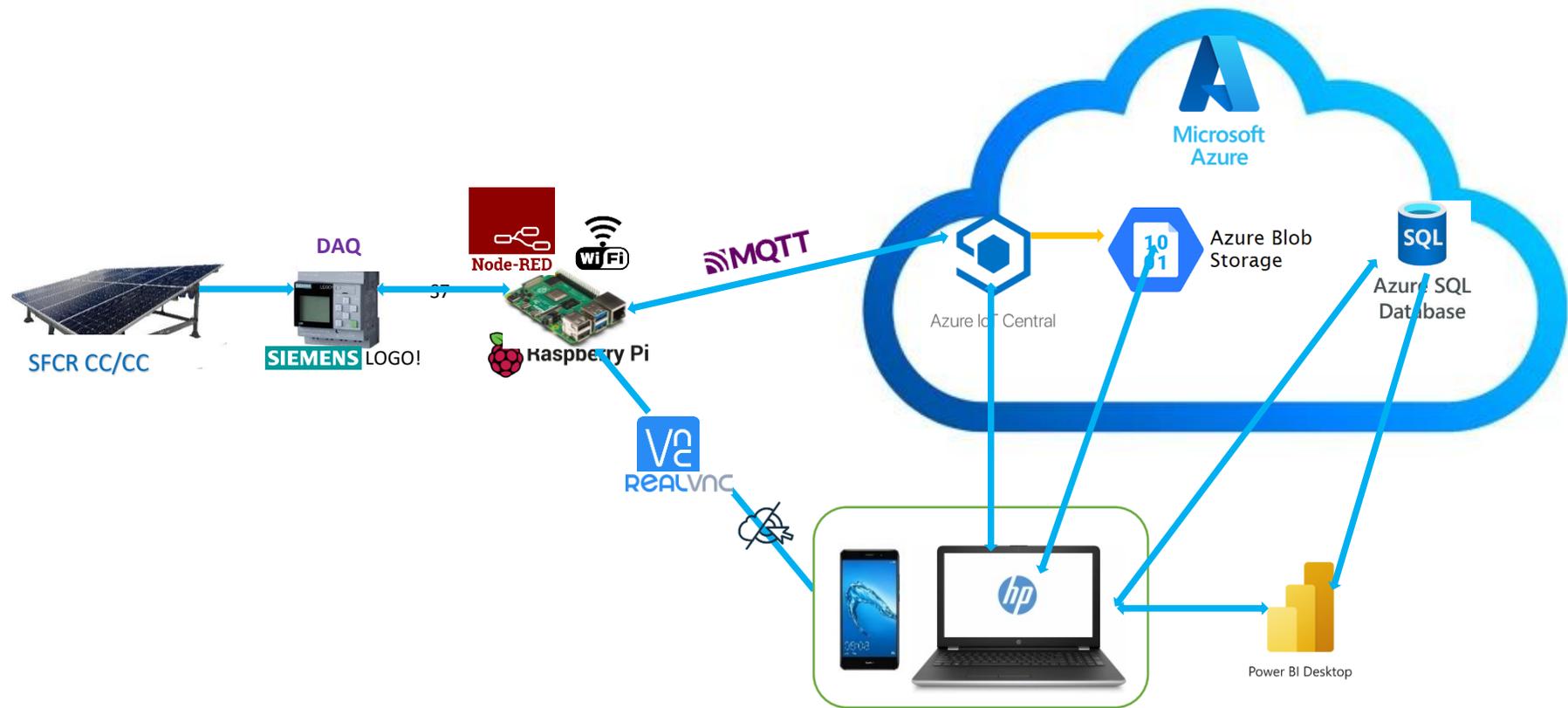


Figura 33. Arquitectura de la conexión de los dispositivos físicos y servicios virtuales del sistema de monitoreo

4.3 EVALUACIÓN DE LA FUNCIONALIDAD DEL SISTEMA DE MONITOREO PROPUESTO

El sistema de monitoreo propuesto presenta las siguientes características

- Los datos se actualizan cada minuto, ya que el PLC está configurado para enviar datos en ese intervalo de tiempo, esto permite el análisis de los datos en tiempo real y la detección de irregularidades en las curvas de voltaje, corriente y temperatura. Se puede acceder al sistema de monitoreo frecuentemente desde cualquier dispositivo conectado a la internet.
- Los softwares de código abierto en la puerta de enlace IoT y los softwares en la capa gratuita de la plataforma IoT permitieron el desarrollo sin inversión y tampoco se requiere un pago mensual por la licencia de estos softwares. El pago si se realiza por el almacén de datos al superarse los beneficios de la capa gratuita por mes y el pago por el almacén de datos al cabo de un año será mayor ya que se terminarán los beneficios de la capa gratuita.
- El sistema no ha fallado durante 2 meses debido a que envía los mensajes por el protocolo MQTT que aprovecha la conexión, aunque la señal en el lugar muchas veces sea muy baja, el dispositivo soporta los cortes de energía eléctrica frecuentes que se dan en el lugar para encenderse e iniciar automáticamente el programa que envía datos a la plataforma IoT, además está optimizado para el envío de datos solo durante las horas sol, por lo que en la noche no envía datos.
- El acceso al sistema de monitoreo está protegido por una firma de acceso compartido de la puerta de enlace IoT a la plataforma IoT y de la plataforma IoT al almacén de datos por identidad administrada por el sistema
- El sistema de monitoreo está protegido contra ciberataques, para acceder a Raspberry Pi OS, node-RED, Azure IoT Central y Azure Blob Storage se requiere autenticación, Node-RED se conecta con Azure IoT Central autenticándose con la firma de acceso compartido y Azure IoT Central para exportar datos a Azure Blob Storage se autentica por identidad administrada asignada por el sistema, además de estas credenciales como medidas de seguridad los datos se envían cifrados, además en la plataforma IoT y el almacén de datos se asigna roles como medida de seguridad para la manipulación de información por parte de los usuarios.
- La solución IoT propuesta además de integrarse con el almacén de datos Azure Blob Storage, puede integrarse con Azure Data Explorer, Azure Event Hubs, Cola de

Azure Service Bus, Tema de Azure Service Bus y Webhook, la implementación de estas integraciones ofrece múltiples ventajas, así como el aumento del precio en el sistema de monitoreo. Por otra parte, Azure Blob Storage se integra con Power BI para un análisis de datos más detallado, el uso de este software en escritorio es gratuito, en cambio si se requiere usar la versión desarrollada para la nube ofrece la ventaja del análisis en tiempo real y debe pagarse por la licencia mensualmente, otra opción de integración es guardar los datos analizados en Power Bi en la base de datos Azure SQL que permite guardar los datos en forma relacional, tanto Azure Blob Storage y Azure QSL Data Base permiten el envío de datos directamente a una aplicación para Android desarrollada en Power App.

- La solución de monitoreo actual tiene un consumo energético de 15W que es mucho menor al consumido por un sistema SCADA convencional.
- Además de la evaluaciones ya expuestas se muestran las contribuciones del sistema de monitoreo Node-RED/ IoT Central en la tabla 4 adaptando la tabla presentada por de Arquer et al., (2021).

Tabla 5 *Contribuciones del Node-RED/ IoT Central identificadas*

Características	Finalidad	Características coincidentes de node-RED	Contribuciones evaluadas
Interoperabilidad	Integrar datos y soluciones heterogéneas	Múltiples complementos disponibles	S7, Modbus y Firmata
		Funcionalidad de propósito amplio	Ethernet, WiFi, serial y Bluetooth
		Formato de datos múltiples	Boolean, number, string, array, object y null
	Permitir la integración vertical (solución de terceros)	Capacidades de enrutamiento	No evaluado
Gestión	Monitorear aplicaciones y dispositivos	Supervisión de dispositivos a través de la suscripción MQTT, HTTP, AMQP, etc	Sólo requiere un cliente MQTT y HTTP
	Fácil actualización de hardware y software	Aprovisionamiento del software controlando a través de HTTP (REALVNC)	Evaluado

	Facilitar la experiencia del usuario	Gestión disponible a través de interfaz web	Monitoreado y gestionado con Azure IoT Central
Seguridad	Evitar el ciberataque más frecuente	Autenticación de usuarios	Autenticación de las personas que se conectan y los diferentes servicios
		Configuración cifrada	Cifrado al enviarse datos a IoT Central
		Gestión de redes	Capacidad de incorporar firewall
	Evitar acciones y configuraciones perjudiciales	Control de acceso a datos, acciones y configuraciones de sistema	Los usuarios y servicios tienen roles específicos al acceder a IoT Central
	Evitar la interceptación de datos	Gestión de certificados	Capacidad de usar certificados X.509
	Verificar los dispositivos conectados	Identificación mediante la plataforma IoT central	Evaluado
Procesamiento	Evitar interrupciones del proceso	Autocontrol de procesos críticos	De forma predeterminada para Azure IoT Central
	Proporcionar datos en tiempo real	Flujos de trabajo paralelos	Ratios múltiples disponibles
	Verificar la integridad de los datos	Operaciones en flujos de trabajo	Evaluado
	Optimizar procesos industriales	Opciones de procesamiento por lotes y en tiempo real	Evaluado
Escalabilidad	Facilitar la expansión horizontal	Integración en arquitectura mediante auto-registro	Se necesita configuración en la plataforma
		Fácil integración de nuevos dispositivos industriales	Configuración intuitiva pero tediosa
		Diseño dinámico del flujo de trabajo	Nodos multipropósito y reutilizables
Costo	Minimizar el costo total	Software gratuito de código abierto y Software en la capa gratuita	Raspberry PI OS y Node-RED son softwares de código abierto y la aplicación

	IoT central en la capa gratuita no tiene costo.
Requisitos de hardware bajos	Disponible en dispositivos de bajo consumo o económicos

- La documentación para la conexión y procesamiento de datos de los dispositivos industriales a la pasarela, así como a la plataforma IoT son escasas lo que dificultó la conexión, fueron necesarias varias pruebas para una conexión óptima.
- El tiempo de muestreo es en tiempo casi real ya que se registró el retraso solo de 1 a 2 segundos, ello debido a que la instalación se encuentra en un lugar alejado con acceso a internet intermitente, velocidad y señal baja.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

El diseño e implementación de un sistema de monitoreo IoT para una instalación fotovoltaica conectada a la red nos permite concluir lo siguiente:

- a. Las plataformas IoT que se compararon ofrecen diferentes servicios para la conectividad, seguridad, procesamiento de datos y análisis, otras las integran en una sola plataforma y otras las ofrecen por separado, comunicando en lenguajes técnicos distintos unos de otros los servicios que ofrecen, esta falta de estandarización hace difícil su evaluación de acuerdo a los desafíos a las que enfrenta un sistema de monitorización fotovoltaico. La plataforma seleccionada fue Azure IoT Central por superar relativamente los desafíos que enfrentan los sistemas de monitoreo fotovoltaico, por ofrecer una capa gratuita dentro de un plan estándar con un número limitado de mensajes gratuitos que abaratan los costos, además de las facilidades para configurar los paneles gráficos y numéricos, reglas, usuarios, exportación a otros servicios en la nube de Azure y la conectividad a los dispositivos IoT y pasarelas.
- b. El diseño del sistema de monitoreo basado en IoT fue posible gracias a la gran flexibilidad y versatilidad que tiene Node-RED, que nos permitió la conexión con el sistema de adquisición de datos, añadirle decimales a los datos, añadir el parámetro de Potencia a partir del voltaje y la corriente, además de darles el formato JSON a los datos para su envío a Azure IoT Central. Al implementarse la solución IoT en la instalación fotovoltaica, nos enfrentamos al desafío de los cortes de fluido eléctrico y desconexión temporal del Raspberry Pi 4 donde está alojado la pasarela por lo que se automatizó la inicialización de Node-RED para su conexión automática y envío de datos a la nube cada vez que se restablece el suministro de energía. También se implementó la exportación de datos de Azure IoT central al almacén de datos Azure Blob Storage para guardar los datos por tiempo indefinido, además de las posibilidades de analizarse en Power BI.
- c. El sistema de monitoreo basado en una solución IoT y servicios en la nube cubrió todas las expectativas aprovechando todas las ventajas que nos ofrece una solución IoT, en cuanto a los desafíos de monitorización que deben superar los sistemas fotovoltaicos se superó la mayoría de ellos detallándose a continuación:

- **Interoperabilidad:** la solución IoT se adapta a varios protocolos de comunicación de dispositivos industriales, también se integra a servicios de terceros todo ello gracias a la gran capacidad que tiene Node-RED de implementar nuevos nodos con capacidades para la solución requerida.
- **Gestión:** el dispositivo IoT es monitoreado por REAL VNC, que permite el monitoreo de la temperatura del chip y memoria RAM del dispositivo, así como la actualización y reconfiguración de los softwares.
- **Seguridad:** los datos están encriptados tanto al enviarse como al ser almacenados. El acceso a Node-RED y Azure IoT Central está protegido por autenticación, autorizaciones de usuarios y roles tanto para los usuarios como para los servicios que se conecten.
- **Procesamiento:** al acceder a Node-RED desde REALVNC los datos se visualizan en tiempo casi real, mostrando un retraso de 1 a 2 segundos, esto es debido a que el Raspberry Pi 4 se ubica en lugar alejado y por consiguiente tiene acceso a un internet de señal baja e intermitente. Los datos se muestrean en la plataforma IoT y se registran en el almacén de datos en intervalos de 1 minuto. Antes de implementarse el sistema de monitoreo en la instalación se comprobó el tiempo que se toma en enviar los datos, para ello se evaluó la plataforma IoT, la pasarela y el dispositivo industrial, donde se observó que los datos se visualizaban en tiempo real en intervalos de 1 segundo.
- **Escalabilidad:** la plataforma IoT y la pasarela permiten escalar a nuevos sensores y dispositivos industriales los que pueden integrarse a la pasarela o a la plataforma IoT autorregistrándose al conectarse, además la plataforma se puede configurar y adaptar a nuevos entornos.
- **Costo:** la solución propuesta disminuye los costos de implementación del hardware ya que Node-RED solo requiere características básicas para su instalación y funcionamiento, por lo que el dispositivo IoT es una PC muy básica que soporta un entorno hostil, además se disminuye los costos de mantenimiento por el uso de softwares de código abierto y el aprovechamiento de la capa gratuita de la plataforma IoT y el almacén de datos, aun superando la capa gratuita del almacén de datos el pago es mínimo.

5.2 RECOMENDACIONES

- Para monitorizar adecuadamente una instalación fotovoltaica se recomienda medir los parámetros meteorológicos: temperatura del medio ambiente, temperatura del panel fotovoltaico e irradiancia y se recomienda la medición de los parámetros eléctricos: voltaje, corriente y potencia en corriente continua, además del voltaje, corriente y potencia en corriente alterna que se obtiene del inversor e integrar todas estas mediciones en un sistema de monitorización basada en una solución IoT.
- Se recomienda hacer un análisis del rendimiento del generador fotovoltaico, del inversor y de todo el SFCR.
- Se recomienda el uso de un piranómetro certificado o una celda calibrada certificada para la medir la irradiancia solar.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aguilar, J. D., Perez, P, J., De la Casa, J., & Rus, C. (2010). Cálculo De La Energía Generada Por Un Sistema Fotovoltaico Conectado a Red: Aplicación Docente. *Escuela Politécnica Superior. Universidad de Jaén.*, 1(Jaén España), 10.
- Amazon Web Services. (2021a). *Cómo funciona AWS IoT*.
https://docs.aws.amazon.com/es_es/iot/latest/developerguide/aws-iot-how-it-works.html
- Amazon Web Services. (2021b). *Más información sobre AWS IoT*.
https://docs.aws.amazon.com/es_es/iot/latest/developerguide/aws-iot-learn-more.html
- Arduino. (2022). *Getting Started With the Arduino IoT Cloud*.
<https://docs.arduino.cc/cloud/iot-cloud/tutorials/iot-cloud-getting-started>
- Carcausto, I., & Cerron, G. (2016). *Evaluación experimental de modelo isotrópico y anisotrópico de la radiación solar a las condiciones del valle del mantaro*. Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Carta, J. A., Calero, R., Colmenar, A., & Castro, M. A. (2009). *Centrales de energías renovables* (Pearson Educación (ed.)).
- CENSOLAR. (2016). *Sistemas de conversión eléctrica* (Progensa (ed.)).
- Cruz, M., Oliete, P., Morales, C., Gonzáles, C., Cendón, B., & Hernández, A. (2015). *Las Tecnologías IoT dentro de la Industria Conectada 4.0*.
<https://www.eoi.es/es/savia/publicaciones/21125/las-tecnologias-iot-dentro-de-la-industria-conectada-40>
- de Arquer, P., Fernández, M. Á., Carús, J. L., & Arboleya, P. (2021). An IoT open source platform for photovoltaic plants supervision. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 125(September 2020).
<https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2020.106540>
- Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2013). *Solar Engineering of thermal processes* (John Wiley & Sons (ed.)).
- Elías, X., & Bordas, S. (2011). *Energía, agua, mediambiente territorialidad y sostenibilidad* (Santos de Santos (ed.)).

- Fernández, J. M. (2010). *Guía completa de la energía solar térmica y termoeléctrica* (A. Madrid Vicente Ediciones (ed.)).
- Google. (2022). <https://earth.google.com/web/@-15.40993193,-70.09023057,3833.83067585a,284.03102706d,35y,3.741554h,0t,0r>.
- Google Cloud. (2021a). *Cloud IoT Core*. <https://cloud.google.com/iot-core>
- Google Cloud. (2021b). *Descripción general técnica de la Internet de las cosas*. <https://cloud.google.com/architecture/iot-overview#gateway>
- Halfacree, G. (2020). *La guía oficial de Raspberry Pi para principiantes*.
- IBM Corporation. (2021). *Arquitectura de producto*. <https://www.ibm.com/docs/en/watson-iot-platform?topic=features-product-architecture>
- International Electrotechnical Commission. (2021). *Photovoltaic system performance - Part 1: Monitoring (PRE-RELEASE VERSION) (2.0)*.
- KaaIoT Technologies. (2022). *Kaa IoT Platform Features for Enterprise IoT Projects*. <https://www.kaaiot.com/products/overview>
- Larrañaga, J. (2016). *IoT con IBM y NI*. <https://addi.ehu.es/handle/10810/18651>
- LoRa Alliance. (2021). *What is LoRaWAN® Specification*. <https://lora-alliance.org/about-lorawan/>
- Madeti, S. R., & Singh, S. N. (2017). Monitoring system for photovoltaic plants: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, 1180–1207. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.088>
- Manotas, J., & Martinez, N. (2018). *Exploración de las plataformas IoT en el mercado para fomentar el conocimiento, buen uso y efectividad de los dispositivos iot creados en la facultad de ingeniería y ciencias básicas de la institución universitaria politécnico grancolombiano* [Institución Universitaria Politécnico Grancolombiano]. https://alejandria.poligran.edu.co/bitstream/handle/10823/1215/Documento_Trabajo_Grado.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Méndez, J., Cuervo, R., & Veritas, B. (2009). *Enería solar térmica* (Fundación Confemetal (ed.)).

- Microsoft. (2021a). *Documentación de Azure IoT Central*. <https://docs.microsoft.com/es-mx/azure/iot-central/>
- Microsoft. (2021b). *Documentación de Azure IoT Hub*. <https://docs.microsoft.com/es-mx/azure/iot-hub/about-iot-hub>
- Microsoft. (2022a). *¿Qué es Azure SQL?* <https://docs.microsoft.com/es-mx/azure/azure-sql/azure-sql-iaas-vs-paas-what-is-overview>
- Microsoft. (2022b). *Arquitectura de referencia de Azure IoT*. <https://docs.microsoft.com/es-mx/azure/architecture/reference-architectures/iot>
- Microsoft. (2022c). *Introducción a Azure Blob Storage*. <https://docs.microsoft.com/es-mx/azure/storage/blobs/storage-blobs-introduction>
- Microsoft Azure. (2021). *Protocolos y tecnologías de IoT*. <https://azure.microsoft.com/es-es/overview/internet-of-things-iot/iot-technology-protocols/>
- MQTT. (2021). *MQTT: The Standard for IoT Messaging*. <https://mqtt.org/>
- OpenJS Foundation. (2022). *Node-RED: Low-code programming for event-driven applications*. <https://nodered.org/>
- REALVNC. (2022). *Control en sus manos*. <https://www.realvnc.com/es/connect/features/>
- Roldán, J. (2010). *Instalaciones solares fotovoltaicas* (E. Paraninfo (ed.)).
- Siemens. (2022). *LOGO! Software*. <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industrial/plc/logo/logo-software.html>
- Sisinni, E., Saifullah, A., Han, S., Jennehag, U., & Gidlund, M. (2018). Industrial internet of things: Challenges, opportunities, and directions. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 14(11), 4724–4734. <https://doi.org/10.1109/TII.2018.2852491>
- ThingSpeak. (2022). *ThingSpeak for IoT Projects*. <https://thingspeak.com/>
- Ubidots. (2022a). *How Ubidots works?* <https://docs.ubidots.com/reference/how-ubidots-works>
- Ubidots. (2022b). *IoT and Cloud tools to build your business*. <https://ubidots.com/platform/>
- Vera, F., García, J. R., & Hernández, Z. (2007). *Atlas de Irradiación Solar y Temperatura*

Ambiente de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia. May 2014, 136.

https://www.researchgate.net/publication/36720598_Atlas_de_irradiacion_solar_y_temperatura_ambiente_de_la_Comunidad_Autonoma_de_la_Region_de_Murcia

ANEXOS

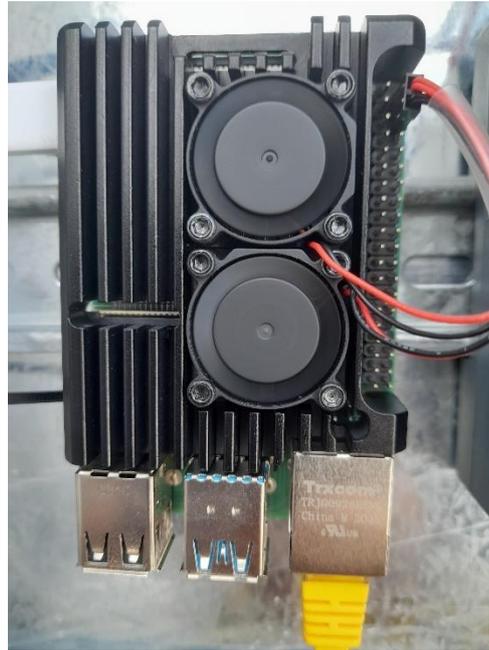
Anexo 1. Sistema fotovoltaico conectado a la red con convertidores de CC/CC



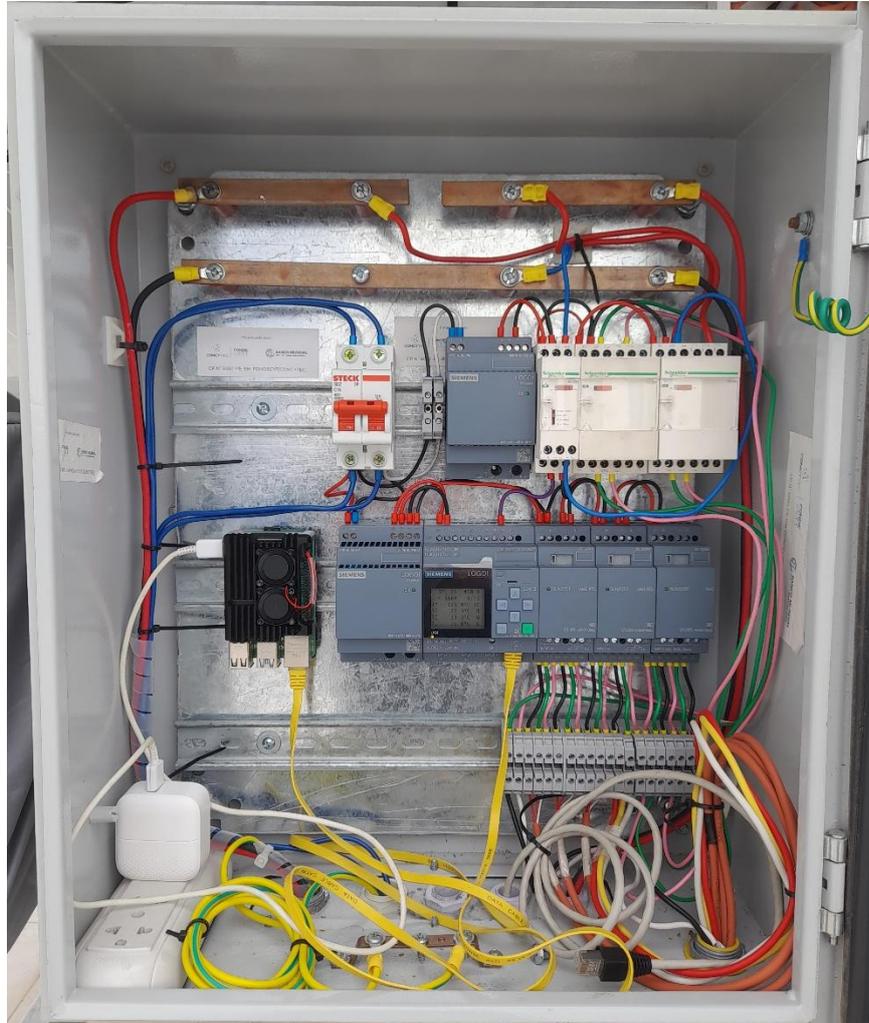
Anexo 2. Sistema de adquisición de datos del SFCR



Anexo 3. Sistema de refrigeración incorporado al Raspberry Pi 4



Anexo 4. Sistema de adquisición de datos integrado al Raspberry Pi 4



Anexo 5. Acondicionamiento de los datos en Node-RED para su envío a IoT Central

```
1 var rad = flow.get("RadiacionSolar");
2 var tempCP = flow.get("TemperaturaCP");
3 var tempEP = flow.get("TemperaturaEP");
4 var tempI = flow.get("TemperaturaInversor");
5 var tempC = flow.get("TemperaturaCelda");
6 var volt = flow.get("Voltaje");
7 var corri = flow.get("Corriente");
8 var pot = (volt*corri/1000000);
9
10 if (volt > 0) {
11   msg.payload = {
12     RadiacionEnElPlanoDeLosPaneles : rad/10,
13     TemperaturaEnElCentroDelPanel : tempCP/10,
14     TemperaturaEnElExtremoDelPanel : tempEP/10,
15     TemperaturaDelInversor : tempI/10,
16     TemperaturaDeLaCelda : tempC/10,
17     Voltaje : volt/10,
18     Corriente : corri/1000,
19     Potencia : pot
20   };
21   return msg;
22 }
```

Anexo 6. Flujo de nodos desarrollados en Node-RED para la conexión con el PLC, transformación de datos y envió a IoT Central

[{"id":"64ce45af71157ec5","type":"tab","label":"SFCR","disabled":false,"info":"First Step to adapt S7-node to logo-node\n\nLogoComfort side:\n\nTools-->Ethernet connections\n\nEnter:\n-LOGO IP adress\n-Subnet Mask\n-Default Gateway\n\nRight Click on Ethernet connections\n\nAdd Server connection --> S7 Connection\n\nDouble click on connection1\n\nTick Connect with an Operator Panel (OP)\n\nIt will change TSAP to 02.00\n\nTick Accept all connection requests (Or you know what you do)\n\nRemote Properties (Client) TSAP: 01.00\n\nRed Node Side:\n\nMenu (Upper Right)-->Import-->Clipboard\n\nPaste flow\n\nImport\n\nIn S7-LOGO8 Flow\n\nDouble click on LOGO8\n\nPLC properties (little pencil)\n\nChange for your Red Node IP adress\n\n\nDeploy\n\nNow you could already read all I/O of

```
Logo\n"}, {"id":"16d9a3fed45699f7","type":"inject","z":"64ce45af71157ec5","name":"","props":[{"p":"payload"}, {"p":"topic","vt":"str"}], "repeat":"1","crontab":"","once":false,"onceDelay":0.1,"topic":"","payload":"","payloadType":"date","x":110,"y":460,"wires":[["a250bfd6b4607101"]]}, {"id":"a250bfd6b4607101","type":"function","z":"64ce45af71157ec5","name":"Telemetria del SFCR","func":"var rad = flow.get(\"RadiacionSolar\");\nvar tempCP = flow.get(\"TemperaturaCP\");\nvar tempEP = flow.get(\"TemperaturaEP\");\nvar tempI = flow.get(\"TemperaturaInversor\");\nvar tempC = flow.get(\"TemperaturaCelda\");\nvar volt = flow.get(\"Voltaje\");\nvar corri = flow.get(\"Corriente\");\nvar pot = volt*corri/10000000;\n\nif (rad > 0) {\nmsg.payload = {\n  RadiacionEnElPlanoDeLosPaneles : rad/10,\n  TemperaturaEnElCentroDelPanel : tempCP/10,\n  TemperaturaEnElExtremoDelPanel : tempEP/10,\n  TemperaturaDelInversor : tempI/10,\n  TemperaturaDeLaCelda : tempC/10,\n  Voltaje : volt/10,\n  Corriente : corri/1000,\n  Potencia : pot\n};\nreturn msg;\n}","outputs":1,"noerr":0,"initialize":"","finalize":"","libs":[],"x":380,"y":460,"wires":[["7c7b35c155fcc495"]]}, {"id":"603349d88b7f500c","type":"s7in","z":"64ce45af71157ec5","endpoint":"ab1b0b4c.23e","mode":"single","variable":"AM1","diff":true,"name":"Radiación Solar","x":100,"y":40,"wires":[["40b57de851cad157"]]}, {"id":"9507402d01fe052b","type":"s7in","z":"64ce45af71157ec5","endpoint":"ab1b0b4c.23e","mode":"single","variable":"AM2","diff":true,"name":"Temperatura en el Centro del
```

Panel", "x":160,"y":100,"wires":[[{"id":"1bc58834580f12e4"}]],{"id":"772965f99eea8655","type":"s7
in", "z":"64ce45af71157ec5","endpoint":"ab1b0b4c.23e","mode":"single","variable":"AM6
", "diff":true,"name":"Temperatura en el Extremo del
Panel", "x":170,"y":160,"wires":[[{"id":"a1e8c42d57db7ab7"}]],{"id":"aec229f6a4f2a54f","type
":"s7
in", "z":"64ce45af71157ec5","endpoint":"ab1b0b4c.23e","mode":"single","variable":"AM3
", "diff":true,"name":"Voltaje del Sistema
Fotovoltaico", "x":150,"y":340,"wires":[[{"id":"510f90f08c5f92f4"}]],{"id":"4d380fa81e08109b
", "type":"s7
in", "z":"64ce45af71157ec5","endpoint":"ab1b0b4c.23e","mode":"single","variable":"AM7
", "diff":true,"name":"Temperatura del
Inversor", "x":130,"y":220,"wires":[[{"id":"51cf8c720ae4e0af"}]],{"id":"d31707d22a51a2a3","ty
pe":"s7
in", "z":"64ce45af71157ec5","endpoint":"ab1b0b4c.23e","mode":"single","variable":"AM5
...64", "diff":true,"name":"Temperatura de la
Celda", "x":130,"y":280,"wires":[[{"id":"2b7d17b977ba299d"}]],{"id":"9f9ed68f9daa0880","typ
e":"s7
in", "z":"64ce45af71157ec5","endpoint":"ab1b0b4c.23e","mode":"single","variable":"AM4
", "diff":true,"name":"Corriente del Sistema
Fotovoltaico", "x":160,"y":400,"wires":[[{"id":"f58be6032a9edc0d"}]],{"id":"2b7d17b977ba299
d", "type":"change", "z":"64ce45af71157ec5", "name": "", "rules": [{"t": "set", "p": "Temperatur
aCelda", "pt": "flow", "to": "payload", "tot": "msg"}], "action": "", "property": "", "from": "", "to": ""
", "reg": false, "x":480, "y":280, "wires": [[]], {"id": "40b57de851cad157", "type": "change", "z":
:"64ce45af71157ec5", "name": "", "rules": [{"t": "set", "p": "RadiacionSolar", "pt": "flow", "to": "
payload", "tot": "msg"}], "action": "", "property": "", "from": "", "to": "", "reg": false, "x":470, "y":
40, "wires": [[]], {"id": "1bc58834580f12e4", "type": "change", "z": "64ce45af71157ec5", "na
me": "", "rules": [{"t": "set", "p": "TemperaturaCP", "pt": "flow", "to": "payload", "tot": "msg"}], "
action": "", "property": "", "from": "", "to": "", "reg": false, "x":470, "y":100, "wires": [[]], {"id": "a
1e8c42d57db7ab7", "type": "change", "z": "64ce45af71157ec5", "name": "", "rules": [{"t": "set",
"p": "TemperaturaEP", "pt": "flow", "to": "payload", "tot": "msg"}], "action": "", "property": "", "f
rom": "", "to": "", "reg": false, "x":470, "y":160, "wires": [[]], {"id": "51cf8c720ae4e0af", "type":
"change", "z": "64ce45af71157ec5", "name": "", "rules": [{"t": "set", "p": "TemperaturaInversor
", "pt": "flow", "to": "payload", "tot": "msg"}], "action": "", "property": "", "from": "", "to": "", "reg"

:false,"x":480,"y":220,"wires":[]],{"id":"510f90f08c5f92f4","type":"change","z":"64ce45af71157ec5","name":"","rules":[{"t":"set","p":"Voltaje","pt":"flow","to":"payload","tot":"msg"}],"action":"","property":"","from":"","to":"","reg":false,"x":440,"y":340,"wires":[]],{"id":"f58be6032a9edc0d","type":"change","z":"64ce45af71157ec5","name":"","rules":[{"t":"set","p":"Corriente","pt":"flow","to":"payload","tot":"msg"}],"action":"","property":"","from":"","to":"","reg":false,"x":450,"y":400,"wires":[]],{"id":"7c7b35c155fcc495","type":"Azure IoT Central","z":"64ce45af71157ec5","scopeid":"0ne004E4D22","deviceid":"Raspberry1","primarykey":"MBB5/Hde5/uIgy+lNknyJNFI/OwWw/Cqd1bDNpcWFeY=","command1":"","command2":"","command3":"","command4":"","command5":"","transport":"mqtt","auth":"sas","certfile":"","certkeyfile":"","passwordi":"","x":650,"y":460,"wires":[]],{"id":"ab1b0b4c.23e","type":"s7 endpoint","transport":"iso-on-tcp","address":"192.168.0.5","port":102,"rack":0,"slot":2,"localsaphi":"01","localtsaplo":"00","remotetsaphi":"02","remotetsaplo":"00","connmode":"rack-slot","adapter":"","busaddr":"","cycletime":500,"timeout":1500,"name":"S7-LOGO8","vartable":[{"addr":"DB1,X1064.0","name":"Q01"},{"addr":"DB1,X1064.1","name":"Q02"},{"addr":"DB1,X1064.2","name":"Q03"},{"addr":"DB1,X1064.3","name":"Q04"},{"addr":"DB1,X1064.4","name":"Q05"},{"addr":"DB1,X1064.5","name":"Q06"},{"addr":"DB1,X1064.6","name":"Q07"},{"addr":"DB1,X1064.7","name":"Q08"},{"addr":"DB1,X1065.0","name":"Q09"},{"addr":"DB1,X1065.1","name":"Q10"},{"addr":"DB1,X1065.2","name":"Q11"},{"addr":"DB1,X1065.3","name":"Q12"},{"addr":"DB1,X1065.4","name":"Q13"},{"addr":"DB1,X1065.5","name":"Q14"},{"addr":"DB1,X1065.6","name":"Q15"},{"addr":"DB1,X1065.7","name":"Q16"},{"addr":"DB1,X1066.0","name":"Q17"},{"addr":"DB1,X1066.1","name":"Q18"},{"addr":"DB1,X1066.2","name":"Q19"},{"addr":"DB1,X1066.3","name":"Q20"},{"addr":"DB1,X1024.0","name":"I01 AI03"},{"addr":"DB1,X1024.1","name":"I02 AI04"},{"addr":"DB1,X1024.2","name":"I03 High Freq"},{"addr":"DB1,X1024.3","name":"I04 High Freq"},{"addr":"DB1,X1024.4","name":"I05 High Freq"},{"addr":"DB1,X1024.5","name":"I06 High Freq"},{"addr":"DB1,X1024.6","name":"I07 AI01"},{"addr":"DB1,X1024.7","name":"I08 AI02"},{"addr":"DB1,X1025.0","name":"I09"},{"addr":"DB1,X1025.1","name":"I10"},{"addr":"DB1,X1025.2","name":"I11"},{"addr":"DB1,X1025.3","name":"I12"},{"addr":"DB1,X1025.4","name":"I13"},{"addr":"DB1,X1025.5","name":"I14"},{"addr":"DB1,X1025.6"}]

{"name":"I15"}, {"addr":"DB1,X1025.7", "name":"I16"}, {"addr":"DB1,X1026.0", "name":
 "I17"}, {"addr":"DB1,X1026.1", "name":"I18"}, {"addr":"DB1,X1026.2", "name":"I19"}, {"a
 addr":"DB1,X1026.3", "name":"I20"}, {"addr":"DB1,X1026.4", "name":"I21"}, {"addr":"DB
 1,X1026.5", "name":"I22"}, {"addr":"DB1,X1026.6", "name":"I23"}, {"addr":"DB1,X1026.7
 ", "name":"I24"}, {"addr":"DB1,INT1032", "name":"AI01"}, {"addr":"DB1,INT1034", "nam
 e":"AI02"}, {"addr":"DB1,INT1036", "name":"AI03"}, {"addr":"DB1,INT1038", "name":"A
 I04"}, {"addr":"DB1,INT1040", "name":"AI06"}, {"addr":"DB1,INT1042", "name":"AI07"
 }, {"addr":"DB1,INT1044", "name":"AI08"}, {"addr":"DB1,INT1046", "name":"AI09"}, {"ad
 dr":"DB1,INT1072", "name":"AQ01"}, {"addr":"DB1,INT1074", "name":"AQ02"}, {"addr":
 "DB1,INT1076", "name":"AQ03"}, {"addr":"DB1,INT1078", "name":"AQ04"}, {"addr":"D
 B1,INT1080", "name":"AQ05"}, {"addr":"DB1,INT1082", "name":"AQ06"}, {"addr":"DB1,
 INT1084", "name":"AQ07"}, {"addr":"DB1,INT1086", "name":"AQ08"}, {"addr":"DB1,INT
 1088", "name":"AQ09"}, {"addr":"DB1,X1104.0", "name":"M01"}, {"addr":"DB1,X1104.1"
 ", "name":"M02"}, {"addr":"DB1,X1104.2", "name":"M03"}, {"addr":"DB1,X1104.3", "name
 ":"M04"}, {"addr":"DB1,X1104.4", "name":"M05"}, {"addr":"DB1,X1104.5", "name":"M06
 "}, {"addr":"DB1,X1104.6", "name":"M07"}, {"addr":"DB1,X1104.7", "name":"M08
 Start"}, {"addr":"DB1,X1105.0", "name":"M09"}, {"addr":"DB1,X1105.1", "name":"M10"},
 {"addr":"DB1,X1105.2", "name":"M11"}, {"addr":"DB1,X1105.3", "name":"M12"}, {"addr"
 :":"DB1,X1105.4", "name":"M13"}, {"addr":"DB1,X1105.5", "name":"M14"}, {"addr":"DB1,
 X1105.6", "name":"M15"}, {"addr":"DB1,X1105.7", "name":"M16"}, {"addr":"DB1,X1105.
 0", "name":"M17"}, {"addr":"DB1,X1105.1", "name":"M18"}, {"addr":"DB1,X1105.2", "na
 me":"M19"}, {"addr":"DB1,X1105.3", "name":"M20"}, {"addr":"DB1,X1105.4", "name":
 "M21"}, {"addr":"DB1,X1105.5", "name":"M22"}, {"addr":"DB1,X1105.6", "name":"M23"},
 {"addr":"DB1,X1105.7", "name":"M24"}, {"addr":"DB1,X1106.0", "name":"M25 LOGO
 Screen White"}, {"addr":"DB1,X1106.1", "name":"M26 TDE Screen
 White"}, {"addr":"DB1,X1106.2", "name":"M27
 CharSet"}, {"addr":"DB1,X1106.3", "name":"M28 LOGO Screen
 Orange"}, {"addr":"DB1,X1106.4", "name":"M29 LOGO Screen
 Red"}, {"addr":"DB1,X1106.5", "name":"M30 TDE Screen
 Orange"}, {"addr":"DB1,X1106.6", "name":"M31 TDE Screen
 Red"}, {"addr":"DB1,X1106.7", "name":"M32"}, {"addr":"DB1,X1106.0", "name":"M33...6
 4"}, {"addr":"DB1,INT1118", "name":"AM1"}, {"addr":"DB1,INT1120", "name":"AM2"}, {"
 "addr":"DB1,INT1122", "name":"AM3"}, {"addr":"DB1,INT1124", "name":"AM4"}, {"addr
 :":"DB1,INT1126", "name":"AM5...64"}, {"addr":"DB1,X1246.0", "name":"NI1"}, {"addr":

```
DB1,X1246.1","name":"NI1..64"},{"addr":"DB1,X1390.0","name":"NQ1"},{"addr":"DB1,X1390.1","name":"NQ1..64"},{"addr":"DB1,INT1262","name":"NAI1"},{"addr":"DB1,INT1264","name":"NAI1...64"},{"addr":"DB1,INT1406","name":"NAQ1"},{"addr":"DB1,INT1408","name":"NAQ2...64"},{"addr":"DB1,INT1128","name":"AM6"},{"addr":"DB1,INT1130","name":"AM7"},{"addr":"DB1,INT1132","name":"AM8"},{"addr":"DB1,INT1134","name":"AM9"},{"addr":"DB1,INT1136","name":"AM10"}]]]
```

UWA