

Modelo de Gestión TI Apoyado en IoT para el Monitoreo de Activos Mantenibles a través de un Sistema de Información

Libardo Adolfo Niño Moreno

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias Básicas Tecnología e Ingeniería – ECBTI

Maestría en Gestión de Tecnología de Información

2022

Modelo de Gestión TI apoyado en IoT para el monitoreo de activos mantenibles a través de un sistema de información

Libardo Adolfo Niño Moreno

Director

Pedro Torres Silva

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias Básicas Tecnología e Ingeniería – ECBTI

Maestría en Gestión de Tecnología de Información

2022

Resumen

Los activos productivos de las empresas industriales requieren ser monitoreados durante su funcionamiento, ya que las ubicaciones de los equipos y el personal que los gestiona y mantiene pueden estar en diferentes lugares, se observa una oportunidad para desarrollar un proyecto aplicado que resuelva cómo diseñar un modelo de gestión para implementar un futuro emprendimiento en el sector de tecnologías de la información, el cual apoyado en la tecnología del Internet de las Cosas permita optimizar el monitoreo de activos productivos a través de un sistema de información; la solución a este problema permitirá a las empresas gestionar equipos productivos de forma remota, ahorrar costos de desplazamiento de técnicos para inspeccionar equipos, detectar fallas en etapas tempranas y aumentar la confiabilidad de los activos productivos.

Los objetivos de este proyecto aplicado incluyen realizar un análisis de los equipos productivos críticos y las tecnologías que permiten el monitoreo remoto, el diseño del modelo de adquisición de datos y la evaluación de este tipo de soluciones en el sector productivo; la metodología se basó en un proceso de vigilancia tecnológica preliminar que permitió definir los elementos del modelo de adquisición de datos y la indagación mediante encuestas del apoyo esperado a este tipo de soluciones.

Como resultado se plantea el uso de una red ZigBee compuesta por una serie de nodos en los cuales están ubicados los sensores, los datos son recopilados por una placa Arduino la cual transmite la información a un nodo coordinador que recibe la información por radio; como plataforma IoT se selecciona a AWS debido a la facilidad de conexión entre dispositivos a la nube, y las herramientas de seguridad ofrecidas.

El 69.2% del personal técnico de las empresas encuestadas calificó como muy importante monitorear las variables de funcionamiento de los activos en tiempo real y de

forma remota; el 38.5% respondió que la gerencia de la empresa podría apoyar una propuesta de implementación de un programa de mantenimiento predictivo basado en monitoreo a distancia, estos resultados preliminares permiten proyectar que un emprendimiento que ofrezca este tipo de servicios es viable.

Palabras clave: activos, mantenimiento, monitoreo, remoto

Abstract

The productive assets of industrial companies need to be monitored in production, due to the fact that the locations of the equipment and the personnel that manage and maintain them may be in different places, an opportunity is observed to develop an applied project that solves how to design a model of management to implement a future undertaking in the information technology sector, which, supported by the Internet of Things technology, allows optimization of the monitoring of productive assets through an information system; The solution to this problem will allow companies to manage production equipment remotely, save travel costs for inspection technicians, detect equipment failures at an early stage, and increase equipment reliability.

The objectives of this applied project include carrying out an analysis of the critical production equipment and the technologies that allow remote monitoring, the design of the data acquisition model and the evaluation of this type of solutions in the production sector; The methodology was based on a preliminary technological surveillance process that allowed defining the elements of the data acquisition model and the investigation through surveys of the expected support for this type of solution.

As a result, the use of a ZigBee network composed of a series of nodes in which the sensors are located is proposed, the data is collected by an Arduino board which transmits the information to a coordinating node that receives the information by radio; AWS is selected as an IoT platform based on the ease of connection between devices and the cloud, and the security tools offered.

69.2% of the technical staff of the companies surveyed rated it as very important to monitor the operating variables of the assets in real time and remotely; 38.5% responded that the management of the company could support a proposal for the implementation of a

predictive maintenance program based on remote monitoring. These preliminary results allow us to project that an undertaking that offers this type of service is viable.

Keywords: assets, maintenance, monitoring, remote

Tabla de Contenido

Lista de Tablas 16

Lista de Figuras 17

Lista de Anexos 20

Introducción..... 21

Idea de Negocio, Barreras de Entrada y Problema..... 25

 Idea de Negocio 25

 Barreras de Entrada 27

 Productos Sustitutos 27

 Mantenimiento Predictivo y Monitoreo Tradicional..... 27

 Ausencia de Mantenimiento Predictivo..... 27

 Inversión Inicial 28

 Resistencia al cambio 28

 Problema..... 28

Objetivos..... 29

 Objetivo general 29

 Objetivos Específicos 29

 Correspondencia entre Objetivos General y Específicos 29

 Alcance 30

 Equipo Emprendedor 31

Tipos de Activos Productivos y Variables de Funcionamiento en la Industria.....	32
Principales Componentes de Activos Productivos	32
Motores Eléctricos	32
Motores de Combustión.....	32
Transportadores	33
Reductores de Velocidad	34
Bombas Hidráulicas.....	34
Centros de Control de Motores (CCM)	34
Tableros de Distribución General (TDG).....	35
Tanques de Almacenamiento.....	35
Compresores de Aire	35
Colectores de Polvo	35
Principales Variables de Funcionamiento de Activos Productivos	36
Presión	36
Corriente Eléctrica	36
Caudal.....	36
Tensión o Voltaje.....	37
Temperatura.....	37
Vibraciones.....	37
Desalineación de Bandas	38

Lista de Equipos, Variables a Evaluar y Unidades de Medida.....	38
Tecnologías de Monitoreo Aplicables a Activos Productivos.....	40
Internet de las Cosas	40
Protocolos de Comunicaciones de Internet de las Cosas.....	40
Sigfox.....	40
Comunicación Celular.....	40
6LOWPAN	41
Zigbee	41
RFID	41
Comparativo entre Protocolos de Comunicaciones	41
Modelo OSI de Referencia para Internet de las Cosas	42
Capa Física	42
Capa de Enlace de Datos	42
Capa de Red.....	43
Capa de Transporte.....	43
Capa de Sesión.....	43
Capa de Presentación.....	43
Capa de Aplicación.....	44
Arquitectura de IoT	44
Capa de Percepción	44

	10
Capa de Red.....	44
Capa de Aplicación.....	44
Protocolos de la Capa de Aplicación para soluciones IoT	45
MQTT	45
AMQP.....	46
CoAP	47
XMPP	48
REST	49
OPC UA.....	50
Selección de Sensores.....	50
Sensores de Referencia para Aplicaciones Industriales.....	52
Presión	52
Corriente	53
Caudal en Líquidos.....	53
Medición de Temperatura sin Contacto.....	54
Medición de Temperatura con Contacto.....	55
Analizadores de Red	56
Sensores Inductivos	57
Sensores de Desalineación Mecánicos	58
Empresas que Ofertan Monitoreo de Activos Productivos	58

	11
Compañías que Producen Equipos de Monitoreo.....	59
Computación en la Nube	60
Características Esenciales de Computación en la Nube	61
Modelos de Servicio de Computación en la Nube	62
Modelos de Implementación de Computación en la Nube.....	62
Fortalezas de la Computación en la Nube	63
Debilidades de computación en la nube	63
Diseño del Modelo de Adquisición de Datos	65
Protocolo de Comunicación Inalámbrica entre Sensores y Gateway	67
Componentes de la Red Inalámbrica	68
Tarjeta Arduino Uno.....	68
Radio XBee.....	69
Tarjeta Xbee Explorer	70
Software X-CTU.....	71
Software Arduino IDE.....	71
Modos de Operación de los Módulos XBee	71
Modo API	72
La Estructura de Datos.....	73
Configuración de Módulos XBee con XCTU	75
Programación de Módulo Arduino	77

	12
Protocolo de Comunicación Alámbrica entre Sensores y Gateway	81
Gateway	83
NodeMCU	83
SIEMENS IOT2040	84
Plataformas IoT	86
Plataformas IoT Sugeridas AWS y Thingspeak	88
Descripción Plataforma AWS IoT	89
Software para Dispositivos	89
AWS IoT Greengrass.....	89
AWS IoT Device Tester	89
FreeRTOS.....	90
AWS IoT Device SDKs.....	90
Servicios de Control	90
AWS IoT Core.....	90
AWS IoT Device Management	90
AWS IoT Device Defender	90
Things Graph	90
Servicios de datos	90
AWS IoT Analytics	90
AWS IoT Site Wise	91

	13
AWS IoT Events.....	91
Conexión de los Dispositivos	91
Servicios de Mensajería.....	92
Device Gateway.....	93
Message Broker	93
Rules Engine.....	93
Servicios de Control	93
Servicio de Autenticación.....	93
Aprovisionamiento de Dispositivos.....	93
Registro de Grupos	93
Jobs Service	93
Registro.....	93
Servicio de Seguridad e Identidad	94
Servicios de Datos	94
Device Shadow	94
Device Shadow Service	94
Envío de Datos a Plataforma IoT Thingspeak.....	94
Prueba de Comunicación entre Thingspeak y un Cliente MQTT	99
Herramientas de Análisis y Visualización de Datos en Thingspeak	101
Arquitectura IoT del Modelo de Gestión para Monitoreo de Activos.....	104

	14
Capa de Percepción del Modelo	105
Capa de Red del Modelo	105
Capa de Aplicación del Modelo	106
Aspectos Relevantes del Modelo.....	106
Lineamientos del Modelo de Gestión de Monitoreo de Activos Utilizando BPM.....	107
Dimensiones de la Metodología BPM.....	107
Negocio.....	107
Proceso.....	108
Gestión.....	108
Ciclo de Vida de BPM.....	108
Modelo de Gestión Basado en el Ciclo de Vida de BPM.....	109
Política.....	109
Roles del Modelo.....	109
Modelo BPM	109
Tareas Críticas	112
Evaluación de Aceptación a la Propuesta de Monitoreo	113
Escala de Likert	114
Preguntas del Instrumento	115
Primera Pregunta: Consulta sobre la Pertinencia del Monitoreo.....	115
Segunda Pregunta: Consulta de Variables a Monitorear	115

	15
Tercera Pregunta: Consulta sobre Tipo de Almacenamiento Preferido	116
Cuarta Pregunta: Consulta sobre Apoyo Previsto por la Gerencia a la Propuesta Presentada.....	117
Población y Muestra	117
Resultados de la Encuesta Realizada.....	118
Pertinencia del Monitoreo	118
Variables a Monitorear	119
Tipo de Almacenamiento Preferido.....	120
Apoyo Previsto por la Gerencia a la Propuesta Presentada.....	120
Conclusiones.....	122
Referencias	125
Anexos	132

Lista de Tablas

Tabla 1. *Cuadro de equipos, variables a medir, intervalos de trabajo y tipos de sensores sugerido.* 39

Tabla 2. *Comparación de protocolos de comunicación de IoT*..... 42

Tabla 3. *Cuadro de equipos, variables a medir, intervalos de trabajo y tipos de sensores sugerido.* 66

Tabla 4. *Tipos de identificadores en modo API*..... 74

Tabla 5. *Comparativo entre plataformas de IoT de acuerdo a hubs disponibles.* 86

Tabla 6. *Comparativo entre plataformas de IoT de acuerdo a servicios de analítica de datos*..... 87

Tabla 7. *Comparativo entre plataformas de IoT de acuerdo a servicios de seguridad de la información*..... 87

Tabla 8 *Identificación de tareas críticas del sistema de monitoreo de activos* 112

Lista de Figuras

Figura 1. *Modelo de protocolo MQTT*..... 46

Figura 2. *Modelo de protocolo AMQP* 47

Figura 3. *Modelo de protocolo CoAP*..... 48

Figura 4. *Modelo de protocolo XMPP*..... 49

Figura 5. *Modelo REST* 50

Figura 6. *Elementos de un sensor y su señal.* 51

Figura 7. *Familia de sensores de presión Honeywell MIP*..... 52

Figura 8. *Familia de sensores inductivos de corriente CSLT*..... 53

Figura 9. *Contador de agua Badger Meter serie M1000.* 54

Figura 10 . *Sensor infrarrojo MLX90614 del fabricante Melexis.* 55

Figura 11. *Termocupla MAX6675.* 56

Figura 12. *Analizador de red LUMEL NR30*..... 57

Figura 13. *Sensor inductivo Conch serie TS*..... 57

Figura 14. *Sensor ROS-2D de la compañía Thermo Scientific.* 58

Figura 15. *Diseño de red propuesto para una red inalámbrica industrial.* 68

Figura 16. *Placa Arduino Uno.* 69

Figura 17. *Radio XBee*..... 70

Figura 18. *Tarjeta XBee Explorer.* 70

Figura 19. *Trama API sin caracteres de escape*..... 72

Figura 20. *Trama API con caracteres de escape*..... 73

Figura 21. *Estructura específica de datos API*..... 73

Figura 22. *Identificación de un módulo XBee por el software XCTU*..... 76

Figura 23. *Ajustes de configuración de modulo XBee en Software XCTU*..... 77

Figura 24. *Esquema de montaje sensor, placa Arduino y modulo XBee configurado como router.* 78

Figura 25. *Inicio de librerías y variables para modulo XBee configurado como router en IDE Arduino.* 79

Figura 26. *Recibo de tramas por el módulo XBee configurado como coordinador.*..... 80

Figura 27. *Red Zigbee conformada por un coordinador y un router.* 81

Figura 28. *Ejemplo de arquitectura del protocolo de comunicaciones I2C.*..... 82

Figura 29. *Esquema del inicio y el fin de un mensaje en el protocolo I2C.* 83

Figura 30. *Diagrama de NODEMCU.*..... 84

Figura 31. *Gateway SIEMENS IOT 2040.*..... 85

Figura 32. *Diagrama de conexión a AWS IoT Core.*..... 92

Figura 33. *Configuración de preferencias en IDE Arduino.* 95

Figura 34. *Programa para envío de datos a la plataforma IoT Thingspeak.*..... 96

Figura 35. *Configuración del canal de recibo de datos en la plataforma IoT Thingspeak.* 97

Figura 36. *Gráficos de datos de temperatura y humedad recibidos en la plataforma IoT Thingspeak.*..... 98

Figura 37 *Configuración de dispositivos MQTT en la plataforma IoT Thingspeak.*..... 99

Figura 38. *Prueba de recibo de datos desde la plataforma IoT Thingspeak al cliente MQTT.fx.*..... 100

Figura 39. *Función de log disponible en el cliente MQTT.fx.* 101

Figura 40. *Temperatura de punto de monitoreo con rangos normal y alerta.* 102

Figura 41. *Análisis de correlación entre temperatura y humedad.* 103

Figura 42. *Código para elaborar correlación entre temperatura y humedad del punto de monitoreo.*..... 104

Figura 43. <i>Diagrama de modelo de gestión para monitoreo de activos.</i>	105
Figura 44 <i>Modelo BPM para Gestión de Monitoreo de Activos Productivos</i>	111
Figura 45. <i>Pertinencia del monitoreo.</i>	118
Figura 46. <i>Variables a monitorear.</i>	119
Figura 47. <i>Tipo de Almacenamiento Preferido.</i>	120
Figura 48. <i>Apoyo previsto por la gerencia a la propuesta presentada.</i>	121

Lista de Anexos

Anexo A *Resumen analítico educativo RAE* 132

Introducción

En el primer capítulo se describe la idea de negocio que consiste en ofrecer servicios de monitoreo de activos productivos a empresas de los sectores de industria, minería y construcción, esta oportunidad de negocio está basada en que los activos productivos de las empresa son aquellos destinados para fabricar los bienes y prestar los servicios objeto de su negocio, luego las empresas requieren operar estos equipos de forma óptima y realizar los mantenimientos que se requieran de forma oportuna para reducir costos de mantenimiento por atención de averías y evitar caídas en la disponibilidad de los equipos; se menciona que las tecnologías emergentes como el internet de las cosas permiten enviar y recibir información de cualquier equipo que este adecuadamente conectado y monitoreado, el uso de esta tecnología constituye una oportunidad para desarrollar un modelo de gestión que pueda ser utilizado como base de conocimiento para implementar un futuro emprendimiento de monitoreo de activos productivos, se referencia la encuesta manufacturera del DANE (2018) la cual informa que los establecimientos encuestados dedicaron el 2.2% del total de sus costos a actividades de mantenimiento por 3.6 billones.

Se identifican las siguientes barreras de entrada: el monitoreo tradicional realizado en sitio a los equipos, las estrategias de mantenimiento basadas en correctivos, el valor de la inversión inicial de un proyecto de monitoreo de activos y la resistencia al cambio.

Basado en esta idea de negocio en el primer capítulo se define el problema: ¿cómo diseñar un modelo de gestión que pueda ser utilizado como base de conocimiento para implementar un futuro emprendimiento en el sector de tecnologías de la información, apoyado en la tecnología del IoT que permita optimizar el monitoreo de activos productivos en los sectores de industria, minería y construcción a través de un sistema de información?, con esta definición se trazan los objetivos generales, los objetivos específicos, se explica la

correspondencia entre objetivos y el alcance de este proyecto.

En el segundo capítulo se desarrolla el primer objetivo específico, el cual consiste en realizar un análisis de los tipos de equipos productivos críticos en los sectores industriales objetivo para identificar cuales se deben incluir en el modelo de gestión de monitoreo de activos productivos. Inicialmente se incluye una lista de los principales componentes de los activos productivos presentes en una instalación industrial como motores eléctricos y de combustión, bandas transportadoras, reductores de velocidad, bombas hidráulicas, compresores de aire y colectores de polvo; luego de evaluada la lista de los principales activos productivos presentes en una instalación industrial el paso siguiente es evaluar cuales son las variables de funcionamiento de estos activos productivos, estas variables serán las que deberán ser monitoreadas por el modelo de gestión propuesto; las principales variables relevantes a monitorear son; presión, corriente eléctrica, caudal, tensión, temperatura, vibraciones y desalineamiento. Con la información de equipos y variables a evaluar se construye una tabla que relaciona los equipos, las variables a medir y las unidades de medida.

En el tercer capítulo se desarrolla el objetivo específico consistente en realizar un análisis diagnóstico sobre las tecnologías disponibles de monitoreo remoto de equipos productivos mediante un esquema de vigilancia tecnológica para evaluar su aplicación en el diseño del modelo de gestión; se revisan los protocolos de comunicación aplicables al internet de las cosas, se documenta un cuadro comparativo entre protocolos de comunicaciones basado en la literatura consultada, se describe el modelo OSI de referencia para el internet de las cosas y se detallan los protocolos de comunicaciones para la capa de aplicación de soluciones IoT; en este capítulo se incluye un recuento de los tipos de sensores aplicables para el monitoreo de activos incluyendo ejemplos de rangos de medida,

modelos y fabricantes, se hace un recuento de las empresas representativas que ofertan el servicio de monitoreo de activos productivos.

En el cuarto capítulo se desarrolla el tercer objetivo específico consistente en diseñar el modelo de adquisición de datos a través de la tecnología del IoT, basado en los resultados del diagnóstico sobre las tecnologías de monitoreo disponibles y los tipos de activos productivos para el modelo de gestión de monitoreo de activos productivos; se inicia con la lista de equipos representativos presentes en la mayoría de empresas del sector seleccionado, se proponen las variables a monitorear, los intervalos de medida y el tipo de sensor requerido para rangos de trabajo típicos; se establecen los criterios de selección de los equipos y protocolos a utilizar. La tecnología seleccionada para el monitoreo de activos está basada en el uso de una red ZigBee sobre la plataforma de Arduino, la cual consta de un conjunto de sensores que se conectan a una tarjeta Arduino Uno el cual constituye un nodo y transmite los datos recolectados por los sensores por medio de radios XBee a un nodo coordinador; la parametrización de los radios XBee se realiza a través del software XCTU, como modo de operación de los radios XBee se selecciona el modo API ya que este modo permite el envío de datos por tramas que permiten identificar la fuente de los datos enviados o recibidos y detallar las operaciones de los módulos; la parametrización correspondiente a la placa Arduino se realiza a través del IDE de Arduino.

Como Gateway se propone el uso en un microcontrolador NODEMCU, el cual puede conectarse a una red Wi Fi y está en capacidad de recibir la información transmitida por radiofrecuencia desde los nodos sensores y a su vez enviar esta información a la nube para su análisis. Se realiza una evaluación de los principales proveedores de servicios en la nube dirigidos a aplicaciones de IoT, se incluye una tabla comparativa basada en la literatura técnica disponible, el proveedor sugerido para almacenar la información de

acuerdo con los datos disponibles es AWS. Se realiza como prueba la transmisión de datos de temperatura y humedad desde dos ubicaciones a la plataforma de IoT Thingspeak, una vez recibida la información en la nube se parametriza para que envíe la información recibida al cliente MQTT.fx; se describen algunas opciones de visualización y análisis de datos provistos por MATLAB en la plataforma IoT Thingspeak.

El quinto capítulo evalúa la aceptación y apoyo del personal técnico de las empresas de los sectores objetivo a una propuesta comercial de monitoreo remoto y adquisición de datos destinados al mantenimiento de equipos, para la elaboración del instrumento se utilizó la escala de Likert, este método de recopilación de información se puede llevar a objetos y permite evaluar temas complejos como preferencias, actitudes y opiniones. Se diseñó un instrumento que evalúa la pertinencia del monitoreo, las variables que medir, el tipo de montaje y el apoyo de la gerencia de las empresas encuestadas al tipo de propuesta desarrollado en el presente proyecto aplicado, la población encuestada son profesionales de mantenimiento de compañías industriales con sede en Colombia; para elaborar una muestra de esta población se construyó una base de datos de 72 profesionales que desempeñen cargos relacionados con mantenimiento en empresas de los sectores objetivo, se elaboró un formulario con las preguntas previamente validadas utilizando la herramienta gratuita disponible en Google, el paso siguiente consistió en contactar por correo a los funcionarios seleccionados e invitarlos a participar en la evaluación del impacto de este proyecto contestando la encuesta enviada por medio electrónico, se obtuvieron 13 respuestas lo que corresponde a un 18% de los profesionales invitados a participar.

Idea de Negocio, Barreras de Entrada y Problema

Idea de Negocio

De acuerdo con la encuesta anual manufacturera, DANE (2018), para el desarrollo de su actividad fabril, los establecimientos encuestados incurrieron en costos y gastos de mantenimiento y reparaciones, accesorios y repuestos consumidos por 3,6 billones correspondientes al 2,2% del total.

El Banco de la República (2020) en su boletín de indicadores económicos, publica una caída del producto interno bruto de Colombia en el II trimestre de 2020 del -15.5%, una disminución del consumo final del -12,5%, y una baja en las exportaciones del -27,5%. Respecto a las proyecciones económicas el Banco de la Republica pronostica una caída del PIB 2020 entre el 2 y el 7%, con una recuperación lenta que hasta finales de 2021 llegue al nivel de actividad económica de 2019, con un desempleo promedio en 2020 entre el 15 y el 17%.

Ante el nuevo escenario generado por la pandemia de COVID19 las empresas han recortado sus presupuestos de inversión y se han focalizado en buscar alternativas para mantener su producción cumpliendo los protocolos de prevención del COVID 19 y optimizando sus costos, la opción del trabajo remoto ha emergido como una alternativa que se proyecta permanezca aún después de superada la pandemia, también se han lanzado programas de innovación y transformación digital, un ejemplo de este es el programa de innovación y transformación digital Davinci implementado por la ANDI (2020), que permite a las empresas postularse para recibir apoyo para acelerar el crecimiento de compañías con historia de alto impacto social y empresarial.

Los activos productivos de las empresas en los sectores de industria, minería y construcción requieren ser monitoreados cuando están en producción y contar con rutinas de mantenimiento preventivo y correctivo, en muchas ocasiones estas actividades se desarrollan de manera presencial, sin embargo tecnologías emergentes como el Internet de las Cosas están dando paso a un nuevo paradigma, donde las cosas (equipos) están de forma rutinaria conectadas y puedan enviar y recibir información desde cualquier parte del planeta donde haya posibilidad de tener una conexión a internet, en este contexto la gestión de activos y mantenimiento han evolucionado, se observa una oportunidad para desarrollar un modelo de gestión que pueda ser utilizado como base de conocimiento para implementar un futuro emprendimiento en el sector de tecnologías de la información, el cual apoyado en la tecnología del IoT permita optimizar el monitoreo de activos productivos en los sectores de industria, transporte, minería y construcción a través de un sistema de información.

Los destinatarios de la solución de monitoreo son las áreas de producción y mantenimiento de las compañías de los sectores industria, minería y construcción, los competidores son en primer lugar compañías que realizan mantenimiento predictivo e inspección de equipos en sitio, y por otra parte compañías del sector tecnológico que oferten servicios de monitoreo remoto a equipos industriales; el sector del transporte no se incluye ya que hay en el mercado soluciones maduras, algunas veces proporcionadas directamente por los representantes de los equipos que vía el canal de comunicación del GPS instalado pueden extraer la información de los parámetros de funcionamiento de los equipos.

Barreras de Entrada

Productos Sustitutos

Se han identificado dos productos sustitutos a una solución de administración y monitoreo de activos basada en el internet de las cosas, la primera corresponde al modelo tradicional de mantenimiento predictivo y la segunda utilizar una estrategia de mantenimiento reactivo en donde las correcciones se realizan posteriores a la falla del equipo.

Mantenimiento Predictivo y Monitoreo Tradicional. Este esquema es el seguido por la mayoría de las empresas con estrategias de mantenimiento estructuradas, consiste en definir una serie de inspecciones periódicas que utilizan diferentes técnicas de mantenimiento predictivo como vibraciones, análisis de aceite, inspección visual, termografía, medición de corrientes entre otras, las diferentes técnicas se realizan en sitio por técnicos entrenados, algunos resultados se entregan de inmediato como una inspección visual y otros pueden demorarse algunos días mientras se procesan los informes. En cuanto al seguimiento de las variables operativas estas usualmente se realizan por los operadores de los equipos quienes son los encargados de dar las señales de alerta ante eventos anormales.

Ausencia de Mantenimiento Predictivo. Algunas empresas no cuentan con rutinas de mantenimiento predictivo definidas y se limitan a realizar mantenimientos preventivos y correctivos, el monitoreo de las variables operacionales es realizada por el operador.

Inversión Inicial

Convencer a los tomadores de decisión de los clientes potenciales para invertir en soluciones basadas en análisis remoto de sus equipos requiere consolidar una promesa de valor atractiva tanto técnica como financieramente.

Resistencia al cambio

Se requiere convencer a los usuarios potenciales de la solución de cambiar sus esquemas tradicionales de administración y mantenimiento predictivo de activos en sitio a un modelo basado en análisis remoto, que brinde la información requerida desde cualquier punto donde dispongan de una conexión a internet en tiempo real.

Problema

¿Como diseñar un modelo de Gestión que pueda ser utilizado como base de conocimiento para implementar un futuro emprendimiento en el sector de tecnologías de la información, el cual apoyado en la tecnología del IoT permita optimizar el monitoreo de activos productivos en los sectores de industria, minería y construcción a través de un sistema de información?

Objetivos

Objetivo general

Diseñar un modelo de gestión como base de conocimiento para la implementación de un futuro emprendimiento apoyado en la tecnología del IoT, que permita optimizar el monitoreo de activos productivos en los sectores de industria, minería y construcción.

Objetivos Específicos

Realizar un análisis de los tipos de equipos productivos críticos en los sectores industriales objetivo para identificar cuales se deben incluir en el modelo de gestión de monitoreo de activos productivos.

Realizar un análisis diagnóstico sobre las tecnologías disponibles de monitoreo remoto de equipos productivos mediante un esquema de vigilancia tecnológica para evaluar su aplicación en el diseño del modelo de gestión.

Diseñar el modelo de adquisición de datos a través de la tecnología del IoT , basado en los resultados del diagnóstico sobre las tecnologías de monitoreo disponibles y los tipos de activos productivos para el modelo de gestión de monitoreo de activos productivos.

Evaluar la aceptación y apoyo del personal técnico de las empresas de los sectores objetivo a una propuesta comercial de monitoreo remoto y adquisición de datos destinados al mantenimiento de equipos, que permita evaluar el apoyo del modelo de gestión de monitoreo de activos productivos.

Correspondencia entre Objetivos General y Específicos

Para cumplir el objetivo general de diseñar un modelo de gestión apoyado en la tecnología del IoT que permita optimizar el monitoreo de activos productivos, es necesario en primer lugar realizar un análisis de cuáles son los activos productivos típicos en el sector

industrial y las variables de funcionamiento que se evalúan para controlar el activo y generar alertas de fallas tempranas cuando estas variables salen de los rangos esperados, este aspecto está incluido en el primer objetivo específico.

En segundo lugar, se requiere realizar un diagnóstico de las tecnologías disponibles que permitan el monitoreo de los activos productivos utilizando la tecnología del internet de las cosas, para esto se realiza un esquema de vigilancia tecnológica que permite evaluar que tecnologías están disponibles, sus ventajas y limitaciones, facilidad de instalación y referencias de casos de éxito, estos aspectos están incluidos en el segundo objetivo específico.

La información obtenida de equipos a monitorear y tecnologías de monitoreo disponibles son el insumo para el tercer objetivo específico, el cual consiste en el diseño del modelo de adquisición de datos, teniendo en cuenta que los elementos seleccionados deben estar alineados con su viabilidad técnica y comercial para el desarrollo de un futuro emprendimiento.

Finalmente se plantea como cuarto objetivo específico, evaluar la aceptación del personal técnico de las empresas de los sectores industriales propuestos a una propuesta comercial de monitoreo de activos y adquisición de datos para mantenimiento de equipos productivos.

Alcance

El alcance inicia con la descripción de la idea de negocio, la definición del problema y objetivos sigue con el análisis de los tipos de activos productivos presentes en los sectores de la industria seleccionados, el análisis de los tipos de tecnología disponibles para monitoreo remoto de equipos, el diseño del modelo de gestión y finaliza con consultas a la

industria vía encuestas del apoyo esperado por parte del personal técnico de las compañías al modelo de gestión de activos productivos.

El diseño del modelo de gestión no tiene previsto la construcción de prototipos de monitoreo de activos, se consideran pruebas de funcionamiento de envío de información entre sensor, controlador emisor y el receptor.

Para el desarrollo de la herramienta de análisis en la versión productiva requerida para el monitoreo de equipos y la extracción de información útil recolectada por los sensores, se sugiere para una fase posterior a este proyecto su desarrollo con una compañía de software, una vez se tengan definidas todas las variables del proceso, el flujo de información y los tipos de datos que se requiera manejar y visualizar.

Equipo Emprendedor

El grupo de trabajo consta del estudiante de maestría de gestión de tecnología de información de la UNAD Libardo Adolfo Niño, como director de proyecto ha sido asignado el profesor Pedro Torres Silva.

Tipos de Activos Productivos y Variables de Funcionamiento en la Industria

Principales Componentes de Activos Productivos

Motores Eléctricos

De acuerdo con Guerrero y Gómez (2010), la mayoría de las maquinas utilizadas en procesos productivos industriales son accionados por motores eléctricos, los cuales representan la parte motriz y un importante componente del proceso productivo, en el cual se transforman las materias primas en el producto final; la principal responsabilidad del personal de mantenimiento es garantizar la mayor cantidad de horas disponibles de los equipos, el identificar y cuantificar las fallas mas comunes de los motores eléctricos permite a las empresas tomar acciones para optimizar los recursos productivos y el retorno de la inversión.

Los motores eléctricos transforman la energía eléctrica en energía mecánica, el principio de funcionamiento es debido a la repulsión magnética de los campos del estator y del rotor, la mayoría de las aplicaciones industriales tienen motores de corriente alterna trifásicos, los voltajes de trabajo típicos son 220 y 440V. Las principales variables identificadas para monitorear en un motor eléctrico son corriente consumida y voltaje de alimentación.

Motores de Combustión.

El motor de combustión es una maquina térmica que transforma la energía química del combustible en energía mecánica rotativa, los motores de combustión no son tan eficientes como los motores eléctricos ya que parte de la energía que provee el combustible se transforma en calor, en las instalaciones industriales el tipo de motor de combustión más empleado es el motor Diesel. Hidalgo et al (2016) plantean que la medición y el registro de

los diferentes valores de los parámetros estructurales y funcionales de las máquinas pueden ser asignados a variables de diagnóstico, cuando se poseen sensores conectados permanentemente en el sistema a diagnosticar, los valores son registrados automáticamente y guardados, este procedimiento es conocido como monitorización continua, cuando las mediciones y el registro de los datos se realizan cada cierto intervalo de tiempo es conocido como monitorización discreta (off line); los autores desarrollaron un procedimiento teórico con el cual se puede evaluar el estado de la variable de diagnóstico presión del combustible y poder dar seguimiento a su evolución.

Las variables relevantes identificadas para monitorear en un motor de combustión se encuentran temperatura, velocidad angular o revoluciones por minuto y presión de aceite.

Transportadores

En la página de LAC (2020) se menciona que los transportadores (conveyors) son usados en muchas industrias para mover productos y otros materiales de una ubicación a otra, se dividen en transportadores de rodillos y de bandas; los transportadores son comúnmente usados en minería, sector automotriz, agricultura, industria alimenticia, manufactura, logística y empaques.

Las bandas transportadoras se componen de una estructura metálica, en los extremos hay dos tambores, uno de cola que tiene la función de tensar la banda y alinearla y uno de cabeza o motriz donde se instala la transmisión que consta generalmente de un motor eléctrico y un reductor, sobre el bastidor se instalan unos rodillos que soportan la banda. La principal variable identificada para medir en una banda transportadora es la correcta alineación.

Reductores de Velocidad

En su página web Viewtech (2022) menciona que un reductor de velocidad también llamado transmisión, consta de un conjunto de engranajes junto con su carcasa y rodamientos; los reductores de velocidad son usados para transferir energía desde una fuente de potencia rotatoria a otra, se encuentran en automóviles, turbinas, maquinaria pesada, entre otras. Las principales variables identificadas para medir en un reductor de velocidad son temperatura y vibraciones.

Bombas Hidráulicas

Power & Motion (2012), menciona que una bomba produce el movimiento de un fluido, este equipo no genera presión, la presión se produce debido a la resistencia del fluido en el sistema, elevándose hasta el nivel necesario para desplazar la carga.

Existen diferentes tipos de bombas hidráulicas en aplicaciones industriales, su selección depende del fluido a transportar como agua, aceite hidráulico u otros productos, la presión y el caudal. Los tipos de bombas más comunes en aplicaciones industriales son centrífugas, de pistones, de paletas, de engranes y de lóbulos. Las principales variables identificadas para medir son presión y caudal.

Centros de Control de Motores (CCM)

Los centros de control de motores son tableros en los que se centraliza el circuito de alimentación, control y protecciones de los equipos productivos que conforman el proceso, que generalmente están constituidos por motores eléctricos. Las principales variables identificadas que medir en un CCM son temperatura, tensión de alimentación y corriente consumida.

Tableros de Distribución General (TDG)

El tablero de distribución general recibe la alimentación proveniente de la acometida, contiene los elementos de control, medida y protección general de la planta; distribuye la energía a los diferentes circuitos de la instalación. Las principales variables identificadas para medir en un TDG son temperatura, corriente y tensión de alimentación.

Tanques de Almacenamiento

En las instalaciones industriales es frecuente que se cuente con tanques o tolvas de almacenamiento para almacenar temporalmente la materia prima del proceso. Las principales variables identificadas para medir son presión, temperatura y nivel.

Compresores de Aire

Muchos componentes funcionan con aire comprimido como cilindros y válvulas neumáticas, para alimentar estos componentes se cuentan con compresores de aire, los compresores más utilizados son compresores de pistón para aplicaciones de bajo caudal y compresores de tornillo para aplicaciones de mayor caudal. Las principales variables identificadas para medir son la presión del tanque de almacenamiento y de las diferentes partes del sistema que requieren una presión diferente a la suministrada por el compresor.

Colectores de Polvo

Cuando en el proceso se trabajan con material particulado se utilizan colectores de polvo para recoger el material generado, hay de dos tipos, con tiro forzado o sin este sistema; los colectores de tiro forzado cuentan con una turbina que genera la succión necesaria en la zona de trabajo para atrapar estas partículas y retenerlas al pasar por elementos filtrantes; los colectores que no cuentan con sistema de tiro forzado usualmente se instalan en silos de almacenamiento. La principal variable identificada para medir en los

colectores de polvo es la presión diferencial, la presión diferencial es la diferencia de presión entre el lado ubicado antes de los elementos filtrantes y la cámara de aire ya filtrado.

Principales Variables de Funcionamiento de Activos Productivos

Presión

Los sistemas neumáticos e hidráulicos en instalaciones industriales y equipos de transporte y de construcción son los subsistemas que requieren monitoreo y alarma por baja y/o alta presión, la mayoría de los equipos tienen presostatos que permiten una revisión en sitio de la presión del sistema. El instrumento para medir presión es el manómetro.

Corriente Eléctrica

La corriente eléctrica es una variable importante para determinar si el consumo de motores eléctricos está dentro del rango de trabajo, no es usual que se tengan medidas de corriente por fase en la mayoría de los motores de una planta, sin embargo, en equipos críticos generalmente se instala un amperímetro o se realizan mediciones periódicas del consumo de corriente. El instrumento para medir la corriente eléctrica es el amperímetro.

Caudal

El caudal de las materias primas es una variable crítica en los procesos de manufactura y generalmente se monitorea con detalle, los equipos de medición de caudal y peso a menudo requieren de calibraciones periódicas para asegurar que la medida está dentro del límite de error permitido por el proceso. El instrumento para medir caudal son los contadores de flujo o caudalímetros.

Tensión o Voltaje

Todas las maquinas eléctricas y circuitos están diseñados para operar a un determinado voltaje, cuando ocurren sobrevoltajes o caídas de tensión se pueden producir daños en los equipos por lo que adicional al monitoreo del voltaje del circuito usualmente se colocan protecciones adicionales como dispositivos de protección contra sobretensiones (DPS). El instrumento para medir el voltaje es el voltímetro.

Temperatura

La temperatura es una variable muy importante en la mayoría de los sistemas industriales, bien sea la temperatura de la materia prima o la de los fluidos de trabajo en sistemas que utilizan aceites para lubricar, refrigerar o para transmitir presión. Los equipos para medir temperatura son los termómetros,

Vibraciones

De acuerdo con White (2010), una vibración se puede considerar como la oscilación o el movimiento repetitivo de un objeto alrededor de una posición de equilibrio. El cuerpo llega a la posición de equilibrio cuando la fuerza que actúa sobre él es cero. El movimiento vibratorio de un cuerpo entero se puede describir completamente como una combinación de movimientos individuales de 6 tipos diferentes, traslaciones en las tres direcciones ortogonales X, Y, Z y rotaciones alrededor de los ejes X, Y, Z; los movimientos a los que el cuerpo está sujeto se pueden descomponer como una combinación de estos seis movimientos.

El análisis de vibraciones permite detectar pequeños defectos mecánicos antes que representen una amenaza en contra de la integridad de la máquina, como rodamientos con fallas, desbalanceo o desalineación. Los análisis de vibraciones se realizan a equipos

críticos del proceso, bien sea como parte de una rutina de mantenimiento predictivo o con un sistema de captación permanente. Los instrumentos para medir vibraciones son los vibrometros.

Desalineación de Bandas

En las bandas transportadoras se requiere revisar que estén alineadas y que la banda no se desplace hacia los bordes laterales lo que puede producir cortes en la banda o la salida del material transportado, para el seguimiento de la alineación se puede emplear inspección visual o instalar sensores de desalineación, estos son sensores de tipo on – off, en los cuales al desplazarse la banda hacia un lado acciona un interruptor.

Lista de Equipos, Variables a Evaluar y Unidades de Medida

A continuación se presenta la tabla 1 con los equipos frecuentemente utilizados en instalaciones industriales, las variables a medir para el monitoreo de estos equipos y las unidades comúnmente utilizadas; no se incluyen vehículos y maquinaria amarilla ya que en este tipo de activos la solución común es contratar un servicio de telemetría que permite realizar el seguimiento de la ubicación del equipo a través de un sistema gps y la extracción de los parámetros recolectados por los computadores de estos activos.

Tabla 1.

Cuadro de equipos, variables a medir, intervalos de trabajo y tipos de sensores sugerido.

Equipo	Variable para medir	Unidades
Motores eléctricos trifásicos	Tensión	Voltios
	Corriente	Amperios
Reductores de velocidad	Temperatura	Grados Centígrados
	Presión	psi
Bombas que transportan agua	Corriente	Amperios
Centro de control de motores	Tensión	Voltios
	Corriente	Amperios
Tablero de distribución general	Tensión	Voltios
	Nivel	Máximo
Tanques de almacenamiento	Caudal	gpm
Tuberías de transporte de líquidos	Presión	psi
Compresores de aire	Desalineación	on - off
Bandas transportadoras		

Fuente: Elaboración propia.

Tecnologías de Monitoreo Aplicables a Activos Productivos

Internet de las Cosas

De acuerdo Kumar & Smys (2018), el internet de las cosas es un nuevo concepto del internet basado en que los objetos del mundo real están conectados al internet, estos objetos son adecuadamente identificados, son accesibles, y su estatus es conocido, de esta manera la nueva promesa del internet de las cosas es que la tecnología permitirá que las cosas respondan dinámicamente a como nosotros queremos que lo hagan; así, el paradigma cambia de conectarse a cualquier hora, desde cualquier parte por cualquier usuario a conectarse a cualquier hora, desde cualquier parte por cualquier cosa. Al conectarse las cosas al internet se crea un alto tráfico y se genera una gran cantidad de datos; los estándares de arquitectura y protocolos para el internet de las cosas abordan factores cruciales como confiabilidad, calidad del servicio, confidencialidad, integridad, entre otros.

Protocolos de Comunicaciones de Internet de las Cosas.

Actualmente las cosas se conectan a internet a través de diferentes protocolos de red, este hecho puede conducir a tareas adicionales cuando se trabajan con diferentes tipos de protocolos en un proyecto, a continuación se describen los conceptos generales de los diferentes protocolos de acuerdo con Goswami et al. (2019).

Sigfox. Esta tecnología es utilizada para comunicación inalámbrica de objetos de bajo rango como sensores y aplicaciones maquina a máquina, el rango de transmisión de datos es de hasta 50Km, este protocolo está diseñado para transmitir pequeñas cantidades de datos entre dispositivos que pueden estar alimentados por baterías.

Comunicación Celular. La comunicación celular es la mejor opción para aplicaciones que requieran un alto rendimiento de manejo de datos y recursos operando a

grandes distancias, aprovecha los recursos de las redes celulares 4G, estos protocolos no son aptos para redes locales, sin embargo están disponibles en los dispositivos móviles celulares.

6LOWPAN. *6LOWPAN* es un protocolo de comunicación usado en dispositivos IoT en el cual dos dispositivos son conectados directamente a sus IP sin la intervención de puertas de enlace (Gateway) y proxies; este protocolo fue diseñado por el Internet Engineering Task Force, es usado para conectar dispositivos inalámbricos de baja potencia en redes usando IPv6, este protocolo combina las capas de red y la subcapa de control de acceso a medios (MAC) del modelo OSI (Open Systems Interconnection Model).

Zigbee. Zigbee fue desarrollado por la alianza Zigbee y está basado en un estándar de baja frecuencia, es un protocolo de alto nivel y soporta la mayoría de los tipos de topologías, el costo de crear una red personal para grandes distancias es bajo.

RFID. Radio Frequency Identification (RFID) tiene un transpondedor de frecuencia llamado RFID tag (etiqueta), y un RFID lector, el RFID tag tiene información única del dispositivo, hay dos clases de etiquetas, pasivas y activas, los sistemas con etiquetas activas utilizan frecuencias más altas y son sistemas más costosos, mientras que los sistemas con etiquetas pasivas usan frecuencias más bajas; la información a transmitir debe ser programada en la etiqueta.

Comparativo entre Protocolos de Comunicaciones

Goswami et al. (2019) realiza una comparación entre los diferentes protocolos de comunicaciones que se muestra en la tabla 2. Todos los estándares tienen un mecanismo de autenticación y encriptación; la velocidad de transmisión de datos es menor de 1 Mbps para Sigfox, 6LoWPAN y Zigbee

Tabla 2.

Comparación de protocolos de comunicación de IoT.

Característica	Sigfox	Celular	6LoWPAN	Zigbee	RFID
Estándar	Sigfox	3GPP and GSM, LTE	IEEE802.15	IEEE802.15	RFID
Red	LPWAN	WNAN	WPAN	WPAN	WPAN
Rata de datos	100bps(UL), 600bps(DL)	NA	250 kbps	250 kbps	4Mbps
Seguridad	Abordaje parcial	RC4	AES	AES	RC4

Fuente: Groswami et al (2019, p. 48)

Modelo OSI de Referencia para Internet de las Cosas

El Modelo OSI (*Open Systems Interconnection*) fue creado en la década de 1980, con la participación de la ISO, con el objetivo de unificar los estándares de conexión en las diferentes redes; actualmente su relevancia es más académica, de acuerdo con Briscoe (2000), este modelo se compone de las siguientes siete capas:

Capa Física

Esta capa define las características físicas y eléctricas de los diferentes equipos conectados a la red.

Capa de Enlace de Datos

Esta capa define las estrategias para compartir los datos entre los diferentes equipos de la red a través de un medio físico incluyendo el control de acceso a los medios, en esta capa se encuentran protocolos como el PPP (point to point protocol) que se utiliza para

conectar dos equipos en una red y el SLIP (serial line internet protocol) que establece comunicaciones por medio de puertos serie.

Capa de Red

En esta capa se proveen los medios para seleccionar rutas, establecer, mantener y terminar comunicación entre redes, aquí se encuentra el protocolo IP (internet protocol), el cual es el protocolo base de la internet, el cual identifica los diferentes dispositivos con una dirección IP.

Capa de Transporte

Esta capa se encarga del transporte de datos entre dos puntos de la red incluyendo la segmentación de los datos y el ensamble de estos al llegar a su destino; aquí reside el protocolo TCP (Transmission Control Protocol), este protocolo establece como los dispositivos deben transmitir sus datos.

Capa de Sesión

Esta capa administra la presentación entre dos equipos que establecen una comunicación, administra y finaliza las sesiones, esta capa es muy importante en el comercio electrónico ya que debe garantizar que las sesiones se mantengan sin interrupciones hasta que el proceso de compra haya terminado.

Capa de Presentación

Esta capa maneja los formatos de los datos, aplica los protocolos de conversión, define la estructura de los datos y su encriptado; asegura que la información pueda ser compartida entre los diferentes actores de la red.

Capa de Aplicación.

En esta capa se encuentra el usuario final y las aplicaciones que gestiona el usuario, por ejemplo, un navegador web; aquí residen protocolos como telnet (teletype network) y mail

Arquitectura de IoT

En la arquitectura de IoT el modelo de capas de OSI da lugar a un modelo más compacto; Roihan et al (2019) menciona que en la arquitectura de IoT se pueden distinguir tres capas: Capa de percepción, de red y de aplicación.

Capa de Percepción

En la capa de percepción del IoT se ubican los sensores que captan la información requerida por la aplicación, como localización, fecha, hora del evento medido y valores de las variables censadas. En esta capa se encuentran tecnologías como RFID y Zig Bee.

Capa de Red

Esta capa se encarga de la importante función de transmitir los datos recolectados de forma segura desde los sensores hasta la central que procesa la información; a través de herramientas como 3G, 4G, WiFi, comunicación infrarroja, satelital, entre otras.

Capa de Aplicación

En esta capa se realizan las operaciones y tratamiento de la información a los datos recolectados por los sensores en la capa de percepción y que ha sido transmitida de forma segura por la capa de red; también es llamada la capa de negocio; esta capa aparte de dar soporte a los sensores y usuarios; también puede ofrecer servicios de datos como minería de datos y analítica.

Protocolos de la Capa de Aplicación para soluciones IoT

Priyadarshi & Behura (2018), menciona que en la capa de la aplicación residen los protocolos que permiten el intercambio de datos formateados entre dos puntos, por ejemplo cliente – cliente o cliente – servidor; los principales protocolos que permiten a clientes y servidores acordar que datos intercambiar son MQTT, REST, COAP, DDS, AMQP y XMPP, siendo MQTT y REST los que parecen liderar su uso.

MQTT

El protocolo MQTT (Message Queue Telemetry Transport) fue originalmente desarrollado por ingenieros de IBM que necesitaban enviar datos de sensores en aplicaciones de oleoductos, que minimizarán el consumo de potencia y lograrán transmitir datos con un ancho de banda mínimo, su principio de funcionamiento se basa en publicar y suscribirse al recibo de mensajes, este sistema permite trabajar en redes Wi-Fi, redes celulares y enlaces satelitales; MQTT es un protocolo ajustado a los requerimientos de aplicaciones IoT.

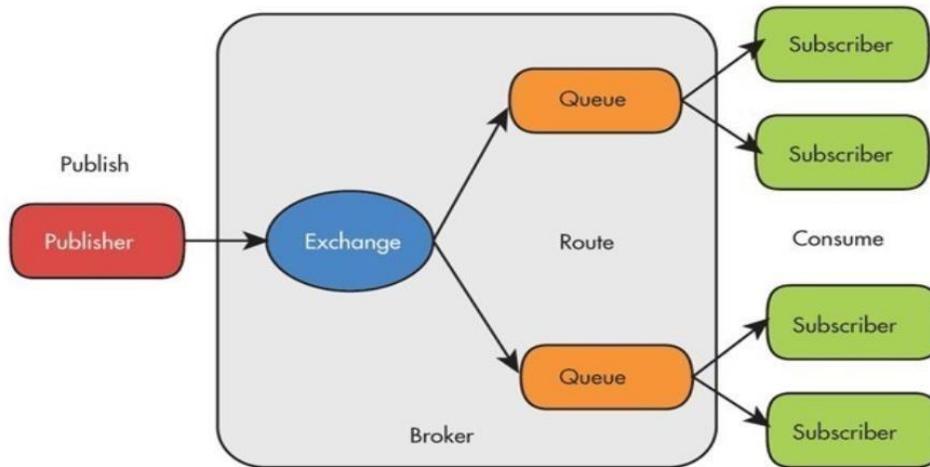
Kumar & Smys (2018) describen los tres modos de calidad de servicio de MQTT:

- “Como máximo uno”, donde los mensajes son entregados de acuerdo con el mejor esfuerzo del contexto operacional, pérdidas de información pueden ocurrir.
- “Al menos una vez”, donde se asegura que los mensajes lleguen, pero pueden existir duplicados.
- “Exactamente una vez”, donde se asegura que los mensajes lleguen una sola vez.

En la figura 1 se observa el modelo de protocolo MQTT,

Figura 1.

Modelo de protocolo MQTT.



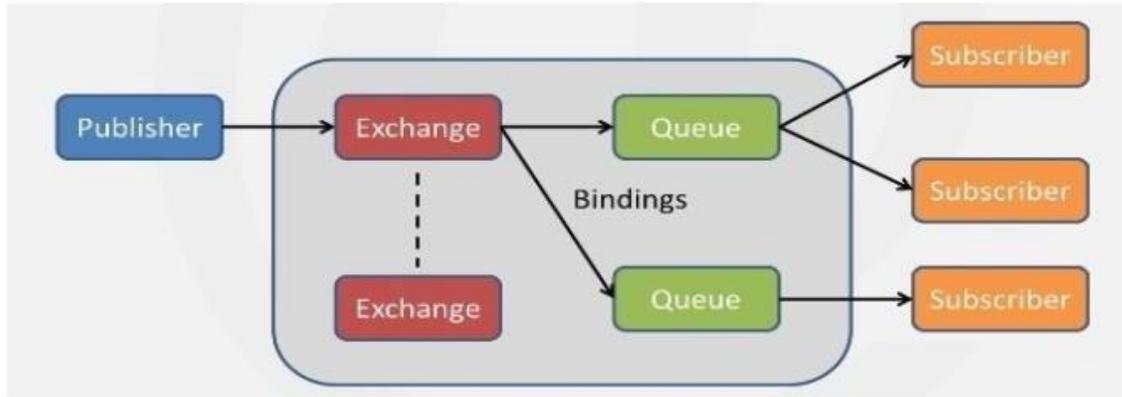
Fuente: Priyadarshi & Behura (2018, p.870)

AMQP

AMQP (Advanced Message Queuing Protocol) se caracteriza por su confiabilidad e interoperabilidad, su funcionamiento inicia con un emisor que envía un mensaje, un broker que distribuye los mensajes a las diferentes filas de espera de acuerdo con las reglas definidas, y los consumidores de los mensajes que los leen una vez tengan acceso; en la figura 2 se incluye un modelo del protocolo AMQP.

Figura 2.

Modelo de protocolo AMQP.



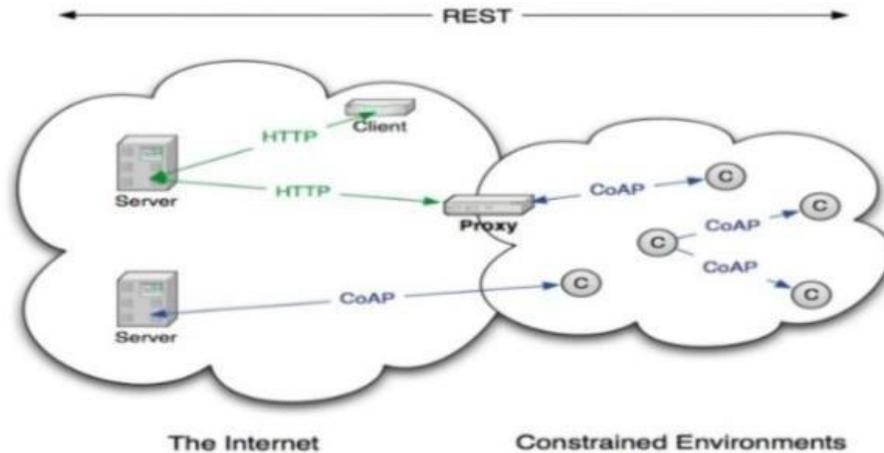
Fuente: Priyadarshi & Behura (2018, p.870)

CoAP

El protocolo CoAP (Constrained Application Protocol) fue diseñado inicialmente para comunicación entre máquinas M2M, sin embargo fue integrado a los requerimientos de IoT, está dirigido especialmente a microcontroladores con bajos recursos y redes con restricciones, incluyendo sensores inalámbricos, está diseñado para una fácil traducción a HTTP para ser integrado a la Web, permite soporte para multidifusión, bajo gasto y simplicidad para uso en equipos con poca memoria y bajo consumo de potencia. A continuación en la figura 3 se observa el modelo de protocolo CoAP.

Figura 3.

Modelo de protocolo CoAP.



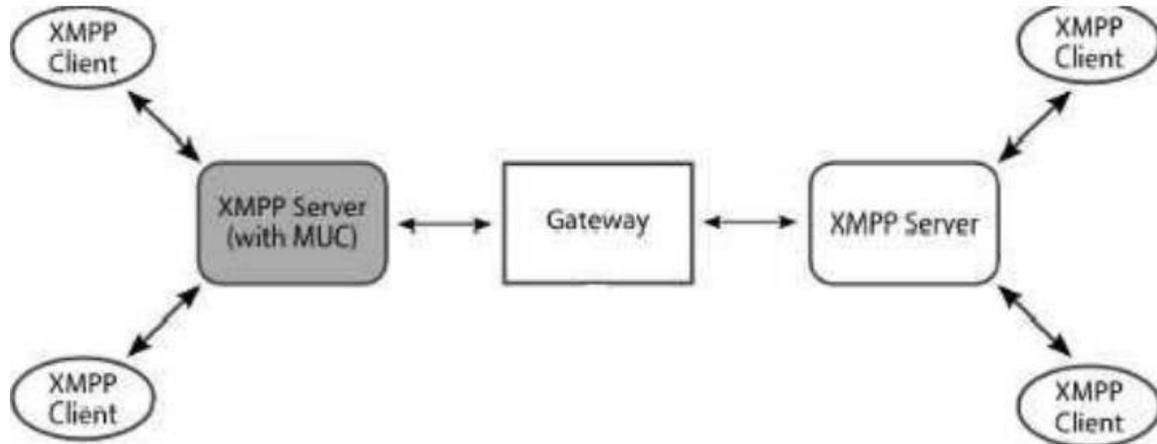
Fuente: Priyadarshi & Behura (2018, p.870).

XMPP

XMPP (Extensible Messaging and Presence Protocol), fue diseñado para aplicaciones de mensajes, video llamadas y para monitorear actividad en línea, de acuerdo con Kumar & Smys (2018) fue diseñado por la comunidad Jabber para soportar un estándar abierto, seguro y libre de spam, permite a los usuarios comunicarse enviando mensajes instantáneos por internet desde cualquier sistema operativo. Algunas características como encriptación, comunicación con otros protocolos, autenticación y control de acceso aún no están disponibles. Un modelo del protocolo XMPP se incluye en la figura 4 a continuación.

Figura 4.

Modelo de protocolo XMPP.



Fuente: Kumar & Smys (2018, p.1159).

REST

La arquitectura REST (Representational State Transfer) está desarrollada para brindar servicios WEB generalmente bajo el protocolo HTTP, está basada en una serie de condiciones que cuando son obtenidas habilitan un conjunto de propiedades en sistemas distribuidos; cuando los principios del modelo REST son aplicados la solución generalmente se llama RESTful (Priyadarshi & Behura, 2018). En la figura 5 se encuentra el modelo REST.

Figura 5.

Modelo REST.



Fuente: Priyadarshi & Behura (2018, p.871).

OPC UA

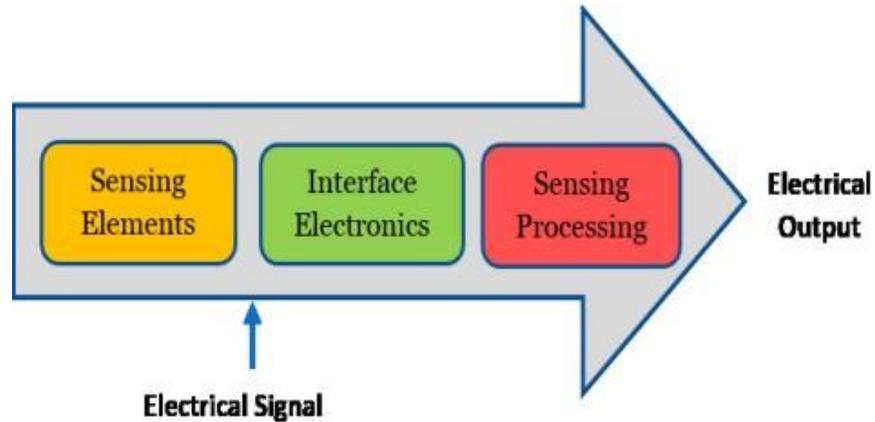
De acuerdo con Ausberger & Štětina (2019), el protocolo OPC UA (OPC Unified Architecture), es un protocolo reciente desarrollado por la fundación OPC, la cual es una organización que estandariza el intercambio de datos e interoperabilidad entre mecanismos de diferentes fabricantes en el área industrial; OPC UA está diseñado como una plataforma independiente, escalable y modular, que incluye mecanismos de seguridad, apropiada para su uso en el IoT; se puede utilizar para conectar dos PLC o para transferencia de datos entre dispositivos,

Selección de Sensores

De acuerdo con Sehrawat & Gill (2019) los sensores desempeñan un importante papel en la automatización al medir y recopilar datos de los diferentes dispositivos de una instalación, el cambio en las variables definidas es medido por los diferentes sensores, en la figura 6 se muestra un esquema básico del funcionamiento de un sensor.

Figura 6.

Elementos de un sensor y su señal.



Fuente: Sehrawat & Gill (2019, p.524).

Jones, (2018) menciona que la red de sensores en un sistema IoT debe ser estratégicamente diseñada, lo que implica la selección de los sensores más apropiados para recolectar la data en un medio ambiente determinado, optimizando su instalación y utilización; para esto se propone un análisis con los siguientes cinco pasos:

- Primero, desarrollar una comprensión del sistema completo y sus procesos fundamentales.
- Segundo, definir los parámetros a ser medidos.
- Tercero, definir los requerimientos de desempeño de los sensores para cada parámetro a ser medido.
- Cuarto, considerar el medio ambiente en el cual operará el sistema.
- Quinto, considerar el costo total de la implementación del sistema de monitoreo.

Sensores de Referencia para Aplicaciones Industriales

A continuación se presenta una lista de sensores tipo para la medición de las principales variables identificadas en instalaciones industriales junto con sus características más relevantes, la información es extraída de las página WEB del fabricante o distribuidor, como referencia se ha establecido los siguientes requerimientos estimados para una instalación industrial: Que trabaje a un nivel de tensión de 440 o 220V, que cuente con motores trifásicos en un rango menor a 50HP, que requiera bombeo de líquidos a presiones menores a 100 psi y sistemas neumáticos con presiones hasta 175 psi.

Presión. La serie MIP de Honeywell son presostatos transductores con un rango de 15 a 175 psi con errores de $\pm 1\%$ FSS BFSL (full scale, best fit straight line), el voltaje de alimentación esta entre 4,75 a 5,25 Vdc y la salida entre 0,4 a 4,5 Vdc. Estas características hacen a esta familia de presostatos adecuados para medir la presión de los sistemas neumáticos industriales que oscilan entre 30 y 175 psi. En la figura 7 se observa la familia de sensores de presión Honeywell MIP.

Figura 7.

Familia de sensores de presión Honeywell MIP.



Fuente: Honeywell <https://sps.honeywell.com/mx/es/products/sensing-and-iot/sensors/pressure-sensors/industrial-pressure-sensors/mip-series>.

Corriente. La serie CSLT de medidores de corriente de Honeywell son pequeños sensores de lazo abierto cuyo elemento de medición esta encapsulado en un circuito impreso en un montaje plástico; mide corriente ac o dc hasta 100 A, lo cual está dentro del rango de potencia de los motores industriales utilizados en instalaciones industriales, el voltaje de alimentación esta entre 4,5 y 10,5 Vdc, es un sensor análogo inductivo. En la figura 8 se incluye una muestra de la familia de sensores inductivos de corriente CSLT:

Figura 8.

Familia de sensores inductivos de corriente CSLT.



Fuente: Honeywell <https://sps.honeywell.com/mx/es/products/sensing-and-iot/sensors/current-sensors/open-loop-sensors/cslt-series>.

Caudal en Líquidos. Para medir caudal de agua incluyendo sólidos en suspensión existen contadores de agua electromagnéticos como la serie M1000 de Badger Meter, el voltaje de alimentación de 9 a 36 Vdc o 92 a 275 Vdc, salida digital, protocolo de comunicación TCP IP. Una foto de un contador Badger Meter serie M1000 se observa en la figura 9 a continuación.

Figura 9.

Contador de agua Badger Meter serie M1000.

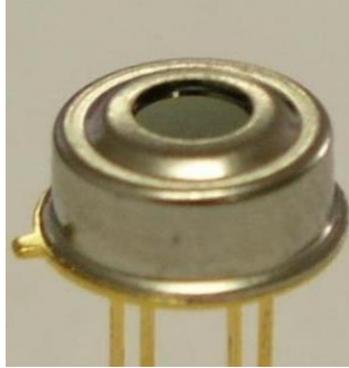


Fuente: Badger Meter <https://www.badgermeter.com/es-es/productos/medidores/medidores-de-flujo-electromagneticos/medidor-de-flujo-electromagnetico-modmag-m1000/>.

Medición de Temperatura sin Contacto. Para realizar seguimiento a elementos críticos en donde el sensor mide la temperatura del equipo sin contacto, se utilizan termómetros infrarrojos, como el MLX90614 del fabricante Melexis, el cual tiene un voltaje de alimentación de 3 o 5V, con un rango de operación de -20 a 120° C con una resolución de salida de 0,14°C, salida digital a 10 bits. A continuación, en la figura 10 se observa una foto de un sensor infrarrojo del fabricante Melexis,

Figura 10 .

Sensor infrarrojo MLX90614 del fabricante Melexis.



Fuente: Melexis

<https://www.melexis.com/en/documents/documentation/datasheets/datasheet-mlx90614>.

Medición de Temperatura con Contacto. En el caso que se requiera adherir el sensor al componente por ejemplo a una carcasa de un reductor de velocidad o motor eléctrico se pueden emplear termocuplas; como ejemplo podemos mencionar el módulo MAX6675, el cual es un convertidor análogo – digital con resolución de 12 bits para termocuplas tipo K, con este módulo es posible conectar el sensor a un controlador por SPI (Serial Peripheral Interface); rango de 0 a 700°C. En la figura 11 se observa una termocupla MAX6675.

Figura 11.

Termocupla MAX6675.



Fuente: Sigma Electrónica <https://www.sigmaelectronica.net/producto/tarjet-max6675/>.

Analizadores de Red. Los analizadores de red permiten observar si en la instalación se presentan caídas o picos de voltaje, medir el consumo de energía, evaluar el factor de potencia, revisar el uso de la maquinaria, entre otros aspectos, existen diferentes modelos de equipos, como ejemplo se presenta el analizador de red LUMEL NR30, el cual puede medir varios parámetros de la red de potencia y se puede comunicar utilizando los protocolos MODBUS TCP/IP, HTTP, FTP, hay una versión de este analizador que incorpora el protocolo MQTT. En la figura 12 se incluye un analizador de red LUMEL NR30.

Figura 12.

Analizador de red LUMEL NR30.



Fuente: TME <https://www.tme.com/pe/es/details/nr30-122103m0/medidores-analiz-de-redes-de-potencia/lumel/nr30-122103m0/>.

Sensores Inductivos. Los sensores inductivos se utilizan para detectar la proximidad de partes de equipos compuestos de materiales ferrosos, como ejemplo el sensor Conch CTS1204NA tiene un rango de operación de 4 mm, en la figura 13 se observa la familia de sensores inductivos Conch de serie TS.

Figura 13.

Sensor inductivo Conch serie TS.



Fuente: SUCONEL <https://suconel.com/product/sensor-de-proximidad-hasta-4mm-inductivo-npn-conch-cts1204na/>.

Sensores de Desalineación Mecánicos. Para detectar desalineación lateral de bandas transportadoras se utilizan sensores tipo on – off en los cuales el borde lateral de la banda al desplazarse acciona un interruptor, como ejemplo de este tipo de sensores se incluye en la figura 14 el ROS-2D de la compañía Thermo Scientific.

Figura 14.

Sensor ROS-2D de la compañía Thermo Scientific.



Fuente: Thermo Scientific

https://tools.thermofisher.com/content/sfs/brochures/Ramsey_Conveyor_Protection_Switches_8049.0514_CO.pdf.

Empresas que Ofertan Monitoreo de Activos Productivos

En Colombia ha comenzado a expandirse la oferta de servicios para la tecnología del internet de las cosas al sector industria, dentro de la investigación realizada sobre la competencia actual se encuentran las siguientes compañías con sedes en el país:

- Solutek. Empresa con sede en Bogotá enfocada en internet de las cosas, tiene una amplia oferta para 18 sectores económicos que incluyen entre otros manufactura, industria, comercio, transporte, sector automotriz y energía.
- Bismark. Empresa con sede en Bogotá, entre sus líneas de servicio se encuentran internet de las cosas y analítica de datos, cuentan con siguientes áreas de negocio: consultoría, ingeniería y desarrollo, instalación y soporte.
- Telemetrik. Empresa con sede en Medellín, dentro de sus líneas de negocio se encuentran el monitoreo y control de los procesos industriales, la telemetría de activos eléctricos, automatización y captura de datos.
- Comercializadora Becor, Empresa comercializadora con sede en Bogotá, cuenta con una línea de negocio encargada de ofrecer soluciones en internet de las cosas al sector industrial, que incluye una red de sensores de monitoreo de variables, gateways (puertas de enlace) y un tablero de indicadores que se puede monitorear desde la nube.

Compañías que Producen Equipos de Monitoreo

Para implementar la solución de monitoreo de activos se requiere seleccionar un conjunto de sensores que tengan capacidad de conexión a un concentrador, que reúna los datos y los envíe a un servidor para su análisis y publicación de indicadores, dentro de las compañías representativas que fabrican este tipo de equipos se encuentran:

- Honeywell (Sensing and internet of things). entre sus productos se encuentran sensores, switches y monitores.

- VersaSense. Esta compañía fabrica productos para brindar soluciones industriales que utilicen la tecnología del internet de las cosas, dentro de los aspectos interesantes de su oferta es la venta de kits de desarrollo.
- TE Connectivity. Compañía que cuenta con una amplia gama de sensores como posición, velocidad, tráfico, temperatura, torque, vibraciones, nivel de agua, ultrasonido.
- Siemens. Siemens es una empresa multinacional alemana con sede en Munich, dentro de su oferta de dispositivos IoT se encuentra los equipos de la línea SIMATIC
- Arduino. Es una compañía de software y hardware open source que diseña microcontroladores para construir dispositivos digitales
- Digi XBee. Es una familia de dispositivos de comunicación inalámbrica de la firma Digi International
- Lumel. Lumel es una empresa de automatización industrial líder en producción de analizadores de parámetros de red, transductores y medidores análogos.

Computación en la Nube

Conforme las organizaciones crecen, requieren tener un conjunto de servidores donde reposen las bases de datos que puedan ser consultadas por las diferentes áreas de las compañías desde diferentes ubicaciones, sin embargo, a medida que los volúmenes de información y las capacidades de procesamiento aumentan, las compañías deben plantearse si continúan robusteciendo sus capacidades de cómputo o tercerizan esta capacidad de procesamiento y almacenamiento. La computación en la nube (cloud computing) permite entregar capacidad de cómputo por demanda.

Las nubes por el modelo de despliegue pueden ser privadas, públicas, híbridas o dirigidas a un sector específico; y por el modelo de servicio pueden ser software como servicio (SaaS, Software as a Service), plataforma como servicio (PaaS, Platform as a Service) e infraestructura como servicio (IaaS, Infrastructure as a Service). La computación en la nube permite que pequeñas compañías puedan arrendar capacidades de procesamiento que de otra forma serían costosas de implementar, y a otros negocios absorber picos de procesamiento sin tener que invertir en infraestructura que quedaría en otros momentos desaprovechada.

De acuerdo con el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST), del Departamento de Comercio de Estados Unidos, Cloud Computing es un modelo para permitir el acceso a la red a pedido, de forma conveniente y de forma ubicua a un grupo compartido de recursos informáticos configurables (por ejemplo, redes, servidores, almacenamiento, aplicaciones y servicios) que se pueden proveer y publicar rápidamente con un mínimo esfuerzo de administración o interacción del proveedor de servicios. Este modelo de nube se compone de cinco características esenciales, tres modelos de servicio y cuatro modelos de implementación.

Características Esenciales de Computación en la Nube.

- Auto servicio a demanda
- Amplio acceso a la red
- Recursos compartidos
- Rápida elasticidad
- Medición del servicio

Modelos de Servicio de Computación en la Nube

De acuerdo con Rountree & Castillo (2014) hay 3 modelos de servicio en computación en la nube:

Software como servicio, mucha gente considera que este es el primer modelo de servicio de Cloud Computing, los clientes generalmente acceden al mismo conjunto de aplicaciones, simplemente hay diferentes particiones o vistas de estas aplicaciones; en este modelo el proveedor es básicamente responsable de todo excepto de los sistemas del cliente.

Plataforma como servicio, en este modelo a los clientes les es dada una plataforma para que la usen de acuerdo con sus necesidades, dependiendo del requerimiento, la plataforma puede ser desde un sistema operativo hasta una plataforma de desarrollo completa que incluya servidores web y librerías.

Infraestructura como servicio, en este modelo el proveedor entrega servicios esenciales como poder de cómputo, almacenamiento, conectividad y sistema operativo, el cliente construye su ambiente de trabajo sobre estos recursos.

Modelos de Implementación de Computación en la Nube.

- Nube Privada
- Nube para comunidad
- Nube Publica
- Nube Hibrida

Fortalezas de la Computación en la Nube

De acuerdo con Marston et al. (2011) las siguientes son fortalezas de computación en la nube:

La computación en la nube baja los costos de entrada para pequeñas firmas que tratan de beneficiarse de intensas analíticas de negocios que hasta ahora estaban disponibles solo para grandes corporaciones. La computación en la nube también representa una gran oportunidad para países en desarrollo que habían sido dejados atrás en la revolución de las tecnologías de información y que carecen de un amplio despliegue de servicios de IT.

La computación en la nube puede proveer un inmediato acceso a recursos de hardware sin inversiones de capital de sus usuarios, lo cual conduce a disminuir los tiempos de acceso a los mercados en muchos negocios. Al tratar IT como un gasto operacional, también se reducen los costos de computación corporativa.

La computación en la nube permite a las empresas escalar fácilmente los servicios prestados de acuerdo con la demanda.

La computación en la nube hace posible nuevas aplicaciones y formas de prestar servicios que antes no eran posibles, por ejemplo, aplicaciones móviles interactivas que responden en tiempo real a información, procesamiento de lotes en paralelo que permite analizar grandes cantidades de información, y analíticas de negocios que pueden usar una gran cantidad de recursos para comprender a sus clientes.

Debilidades de computación en la nube

De acuerdo con Cierco Jiménez de Parga (2011) los principales retos de la computación en la nube son los siguientes:

Estándares, se requieren estándares para migrar aplicaciones entre las nubes, para acuerdos de niveles de servicio, para la identificación entre nubes, para intercambio de datos y metadatos entre nubes, entre otros.

Asuntos legales, en la parte legal se requiere establecer las regulaciones para delimitar las responsabilidades asociadas a la custodia y manipulación de información sensible por parte de terceros y en ubicaciones geográficas que pueden estar distribuidas en diferentes países.

Diseño del Modelo de Adquisición de Datos

Con la información de equipos a monitorear revisada en el segundo capítulo (tipos de activos productivos y variables de funcionamiento en la Industria) se obtiene el primer insumo para el diseño del modelo de adquisición de datos, el cual consiste en la relación de equipos productivos más frecuentemente utilizados; para este análisis se particularizó en el tipo de equipos perteneciente a la industria de construcción.

En la tabla 3 se encuentra el resumen de equipos, variables a medir, intervalos de medida típicos y tipos de sensores requeridos; la información de los intervalos de medida es consultada de las páginas web de fabricantes o distribuidores de equipos; como referencia se han establecido los siguientes parámetros de diseño del modelo de adquisición de datos para una instalación industrial en lo que respecta a tipos de equipos a monitorear: que los equipos con accionamiento eléctrico trabajen a un nivel de tensión de 440 o 220V, que los motores eléctricos sean trifásicos en un rango menor a 50HP, que La instalación industrial requiera bombeo de líquidos a presiones menores a 100 psi, que cuente con bandas transportadoras para el transporte de materia prima y utilice compresores y sistemas neumáticos con presiones hasta 175 psi.

Tabla 3.

Cuadro de equipos, variables a medir, intervalos de trabajo y tipos de sensores sugerido.

Equipo	Variable para medir	Unidades	Intervalo típico	Tipo de sensor requerido
Motores eléctricos trifásicos	Tensión	Voltios	0 a 440	Voltímetro
	Corriente	Amperios	0-100 A	Amperímetro
Reductores de velocidad	Temperatura	Grados Centígrados	0 - 100	termocupla
Bombas que transportan agua	Presión	Psi	0-150	Presostato
Centro de control de motores	Corriente	Amperios	0-250 A	Amperímetro
	Tensión	Voltios	0 - 440	Voltímetro
Tablero de distribución general	Corriente	Amperios	0-500 A	Amperímetro
	Tensión	Voltios	0 - 440	Voltímetro
Tanques de almacenamiento	Nivel	Máximo	On - Off	Posición
Tuberías de transporte de líquidos	Caudal	Gpm	0-300	Medidor de flujo
Compresores de aire	Presión	Psi	0-200	Presostato
<u>Bandas transportadoras</u>	Desalineación	on - off		Interruptor

Fuente: Elaboración propia.

En el tercer capítulo (tecnologías de monitoreo aplicables a activos productivos) se realizó un esquema de vigilancia tecnológica de los sistemas de monitoreo de activos productivos disponibles, que incluyó la revisión de los protocolos de comunicación IoT Sigfox, celular, 6LOWPAN, Zig Bee y RFID; la arquitectura de IoT y los protocolos de la capa de aplicación MQTT, AMQP, CoAP, XMPP, REST, OPC UA; además se llevó a cabo la investigación de los tipos de sensores disponibles para el monitoreo de activos productivos. Se establecen los siguientes parámetros para la selección de los sensores, controladores y protocolos de comunicación:

- El costo de los equipos y su implementación debe ser competitivo teniendo como referencia sistemas de monitoreo ya establecidos como SCADA.
- Los componentes deben ser de fácil consecución
- Seleccionar en lo posible equipos que permitan utilizar hardware y/o software libre
- El montaje de los sistemas de monitoreo en la planta debe requerir el mínimo de modificaciones en la instalación.
- Contar con casos de éxito documentados de las tecnologías o equipos seleccionados.

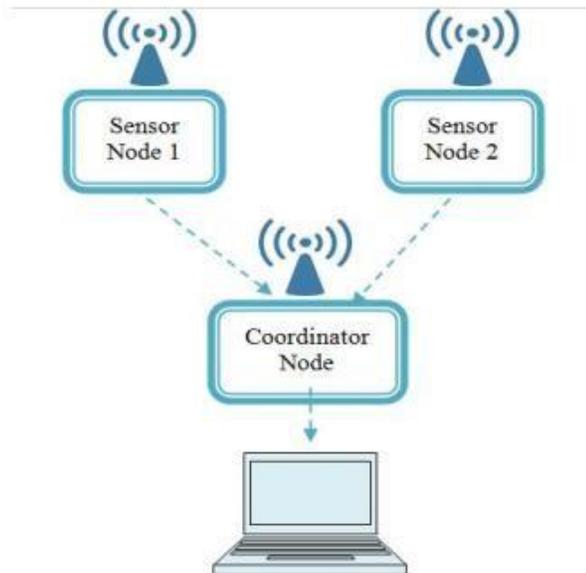
Protocolo de Comunicación Inalámbrica entre Sensores y Gateway

Basado en los resultados del proceso de vigilancia tecnológica realizado en el tercer capítulo y los parámetros de selección de sensores, controladores y protocolos de comunicación se plantea el uso de una red Zigbee sobre la plataforma de Arduino según el modelo descrito por Kumbhar (2016); la red se compone de una serie de nodos en los cuales están ubicados los sensores, los datos de cada nodo sensor son recopilados por una placa Arduino la cual transmite la información a un nodo coordinador que recibe la

información de la red de sensores por radio. En la figura 15 se observa un diseño de red propuesto para una red inalámbrica industrial.

Figura 15.

Diseño de red propuesto para una red inalámbrica industrial.



Fuente: Kumbhar (2016, p.1).

Componentes de la Red Inalámbrica

De acuerdo con Kumbhar (2016) para implementar una red de este tipo se requieren los siguiente componentes:

Tarjeta Arduino Uno. Este es un microcontrolador de fuente abierta (open source) típicamente usado para prototipado, una foto de este microcontrolador se encuentra en la figura 16 a continuación.

Figura 16.

Placa Arduino Uno.



Fuente: Kumbhar (2016, p.2).

Radio XBee. Estos radios se utilizan para conectar los diferentes nodos de la red. ZigBee es un protocolo de comunicación de baja potencia, rendimiento y costo; y XBee la marca de los radios. De acuerdo con el fabricante, el alcance de los dispositivos Digi XBee S2C Zigbee es de 60 metros, en caso de requerirse se puede utilizar una configuración de radios como repetidores para ampliar este alcance. En la figura 17 se observa un radio XBee.

Figura 17.

Radio XBee.



Fuente: Kumbhar (2016, p.2).

Tarjeta Xbee Explorer. Con esta tarjeta se configuran los radios XBee mediante un computador. Una foto de la tarjeta XBee Explorer se muestra en la figura 18.

Figura 18.

Tarjeta XBee Explorer.



Fuente: Kumbhar (2016, p.3).

Software X-CTU. La configuración del radio Xbee se realiza a través del software X-CTU descargado desde el fabricante Digi.

Software Arduino IDE. La placa Arduino es programada a través de una aplicación de fuente abierta que corre sobre un computador y es comúnmente llamada IDE (Integrated Development Environment).

Una vez configurada la placa Arduino y el radio Xbee se pueden conectar para que el Arduino usando comunicación serial envíe y reciba información a través del radio XBee.

Modos de Operación de los Módulos XBee

De acuerdo con Vera et al (2015) los módulos Xbee tienen dos modos de operación, modo transparente y API, en el modo de transparente la comunicación se comporta como una línea serie, todos los datos recibidos en el pin de entrada DIN a través del UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) se ponen en cola para ser transmitidos por radiofrecuencia.; los mensajes recibidos por radiofrecuencia se envían a través del pin DOUT.

Kooijman (2015) menciona que el modo transparente tiene varias limitaciones, entre ellas que la información solo puede ser enviada a una dirección preconfigurada, al recibir información no existe indicación de la fuente de la información, adicional cuando existen diferentes fuentes de información, los datos podrían quedar intercalados, además el modo transparente (AT) no soporta algunos tipos de mensajes del protocolo Zigbee; por tal motivo se prefiere utilizar el modo API; cuando la comunicación se realiza en modo de operación API todos los datos que son enviados o recibidos están contenidos en tramas que detallan las operaciones del módulo.

Modo API

En el modo API, cada una de las tramas empieza con el byte 0x7E que identifica el inicio de un mensaje, sigue el tamaño de la trama, el tipo de la trama, el mensaje y una suma de chequeo (checksum) la cual valida que el mensaje sea correcto. De acuerdo con el manual de Digi para módulos Xbee, existen dos modos de funcionamiento API: AP=1 sin caracteres de escape y AP=2 con caracteres de escape.

Cuando el modo API se establece en API=1, sin caracteres de escape, la estructura de la trama se describe en la figura 19. La trama empieza con el delimitador 0x7E, a continuación hay dos bytes que indican el tamaño del mensaje, el primero es el byte más significativo (MSB, Most Significant Byte) y luego el byte menos significativo (LSB, Less Significant Byte), luego sigue la trama de datos y por último el checksum; cualquier dato recibido antes del delimitador 0x7E es descartado, si el checksum no es correcto, también el mensaje se descarta.

Figura 19.

Trama API sin caracteres de escape.



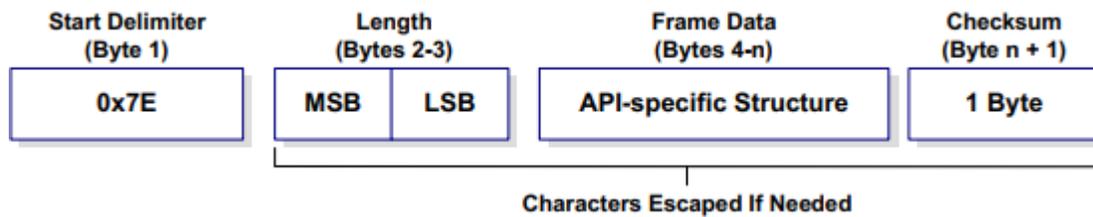
Fuente: ZigBee RF Modules (2018) *Digi*, p. 109.

Cuando el modo API se establece en API=2, con caracteres de escape, la estructura de la trama se describe en la figura 20. Este modo se utiliza cuando algunos valores específicos deben ser escapados con el fin que no interfieran con la secuencia de datos transmitidos, un ejemplo de un dato presente en la trama de datos que debe ser escapado es

el delimitador 0x7E, si se mantuviera este valor en el contenido de la trama le indicaría al módulo XBee que recibe los datos que hay un nuevo mensaje en curso, lo cual conduciría a un error de interpretación del mensaje enviado.

Figura 20.

Trama API con caracteres de escape.



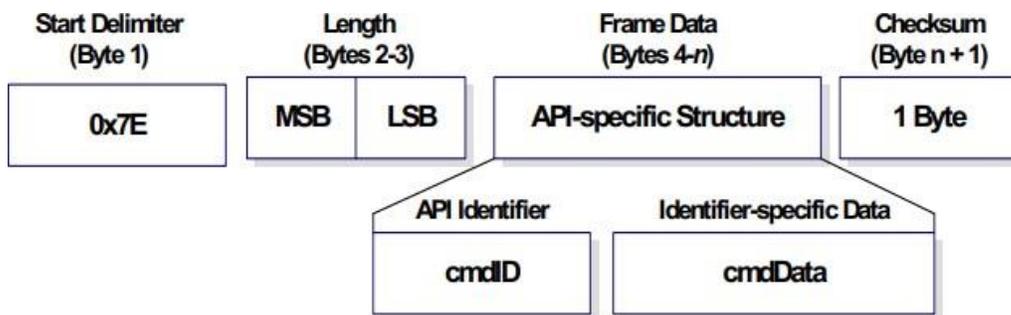
Fuente: ZigBee RF Modules (2018) Digi, p. 110.

La Estructura de Datos

La estructura de los datos en modo API se incluye en la figura 21, se compone de un identificador API y los datos específicos de acuerdo al tipo de mensaje

Figura 21.

Estructura específica de datos API.



Fuente: ZigBee RF Modules (2018) Digi, p. 110.

En la tabla 4 se muestran los diferentes identificadores de los datos enviados o recibidos:

Tabla 4.

Tipos de identificadores en modo API.

API Frame Names	API ID
AT Command	0x08
AT Command - Queue Parameter Value	0x09
Zigbee Transmit Request	0x10
Explicit Addressing Zigbee Command Frame	0x11
Remote Command Request	0x17
Create Source Route	0x21
AT Command Response	0x88
Modem Status	0x8A
Zigbee Transmit Status	0x8B
Zigbee Receive Packet (AO=0)	0x90
Zigbee Explicit Rx Indicator (AO=1)	0x91
Zigbee IO Data Sample Rx Indicator	0x92
XBee Sensor Read Indicator (AO=0)	0x94
Node Identification Indicator (AO=0)	0x95
Remote Command Response	0x97
Over-the-Air Firmware Update Status	0xA0
Route Record Indicator	0xA1
Many-to-One Route Request Indicator	0xA3

Fuente: Fuente: ZigBee RF Modules (2018) *Digi*, p. 111.

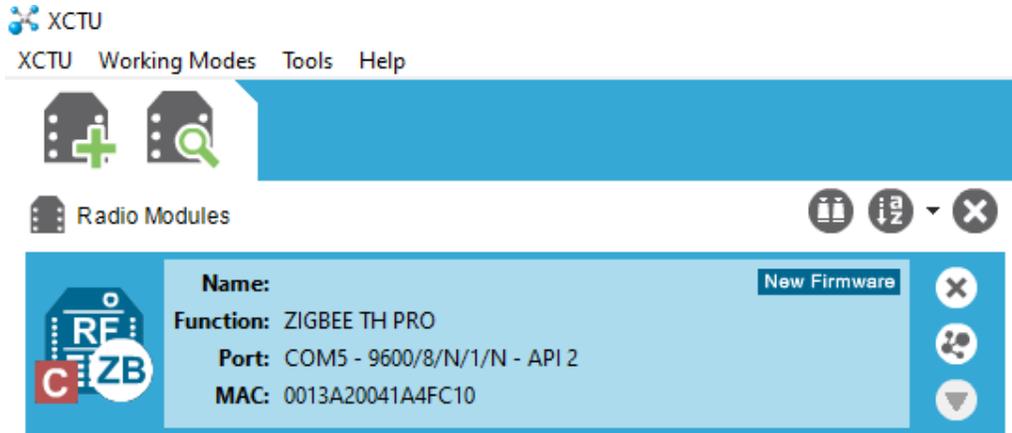
Configuración de Módulos XBee con XCTU

El software XCTU es provisto por Digi y se puede descargar sin costo desde su sitio web, por medio de este software se puede actualizar el firmware de los módulos XBee, configurar su modo de operación y los demás parámetros disponibles, como prueba de comunicaciones para este proyecto se configuraron dos módulos XBee serie 2 en modo API (AP=2) y se enviaron los datos de temperatura obtenidos a través de un sensor, se utilizó un Arduino Uno, un sensor de temperatura DTH11 y dos módulos XBee serie 2; los módulos Xbee fueron configurados uno como router y el otro como coordinador.

Una vez descargado el software XCTU se procede a configurarlo conectando el módulo XBee a un puerto USB del computador utilizando un módulo XBee Explorer. Los pasos para configurarlo comprenden actualizar el firmware, seleccionar si el módulo XBee trabajará como coordinador o router y ajustar los parámetros de acuerdo a los requerimientos de cada módulo XBee. En la figura 22 se observa la identificación que realiza el software XCTU del módulo XBee conectado, para el caso de ejemplo es un coordinador (parámetro CE), transmitiendo en modo API con caracteres de escape (parámetro AP), utilizando el protocolo Zigbee.

Figura 22.

Identificación de un módulo XBee por el software XCTU.

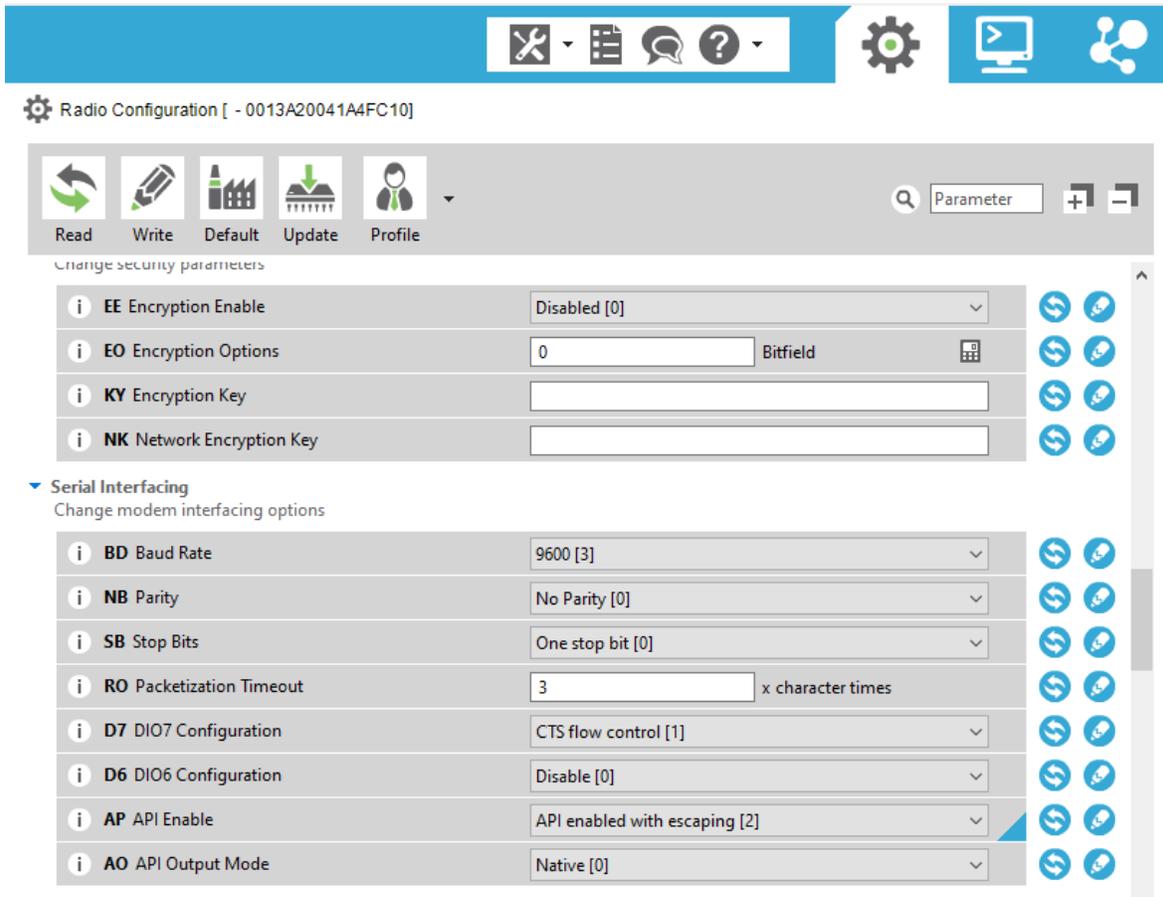


Fuente: Elaboración propia utilizando el software XCTU.

En la figura 23 se observa parte de la lista de parámetros disponible para configurar un módulo XBee, se observa como el parámetro AP está configurado para habilitar el módulo XBee en modo API con caracteres de escape (AP=2).

Figura 23.

Ajustes de configuración de modulo XBee en Software XCTU.



Fuente: Elaboración propia utilizando el software XCTU.

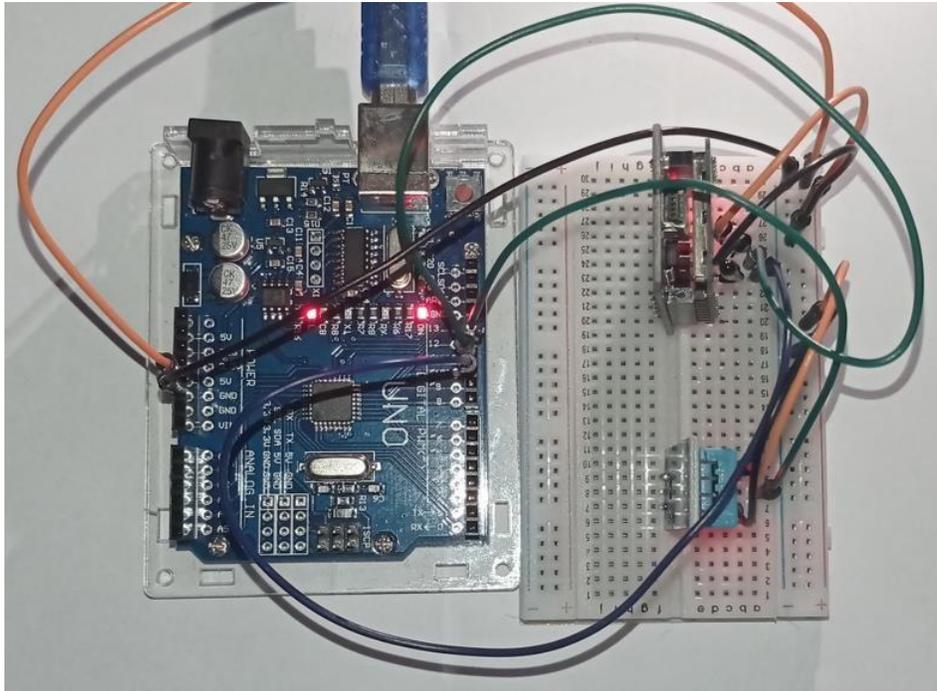
Programación de Módulo Arduino

Para el caso de ejemplo se utilizó un sensor de temperatura y humedad DTH11, el cual es un sensor de bajo costo con salida digital; la información captada por este sensor es transmitida a una placa Arduino Uno, que tiene la función de gestionar los datos recibidos y convertir esta información en tramas que puedan ser enviadas al puerto de entrada de datos del módulo XBee configurado como router, para luego ser transmitidas por radiofrecuencia

al módulo configurado como coordinador. El esquema de montaje de sensor, placa Arduino y modulo XBee se observa en la figura 24.

Figura 24.

Esquema de montaje sensor, placa Arduino y modulo XBee configurado como router.



Fuente: Elaboración propia.

Para la elaboración de las tramas en el IDE de Arduino se utilizó la librería SoftwareSerial la cual fue reseñada por Botica et al (2018) en un artículo que expuso la elaboración de redes ZigBee para monitorear la calidad del aire. El código escrito para convertir los datos del sensor en tramas que pueden ser enviadas al módulo XBee se basó en los tutoriales que la librería SoftwareSerial provee en su sitio web, un recorte de este código se observa en la figura 25.

Figura 25.

Inicio de librerías y variables para modulo XBee configurado como router en IDE

Arduino.



```
Router_env_o_de_temperatura_xbee Arduino 1.8.12
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

Router_env_o_de_temperatura_xbee
#define DHTTYPE DHT11

// Inicio de sensor DHT11
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE); //se declara el puerto donde conecta el sensor y el tipo

// Crear objeto XBee y SoftwareSerial
SimpleZigBeeRadio xbee = SimpleZigBeeRadio();
SoftwareSerial xbeeSerial(10, 11); // (RX=>DOUT, TX=>DIN)

// Paquete a enviar (zbp)
SimpleZigBeePacket zbp = SimpleZigBeePacket();

// Payload a enviar
int humedad = 0;
int temperatura = 0;
// Variables para almacenar tiempo
unsigned long time = 0;
unsigned long last_sent = 0;

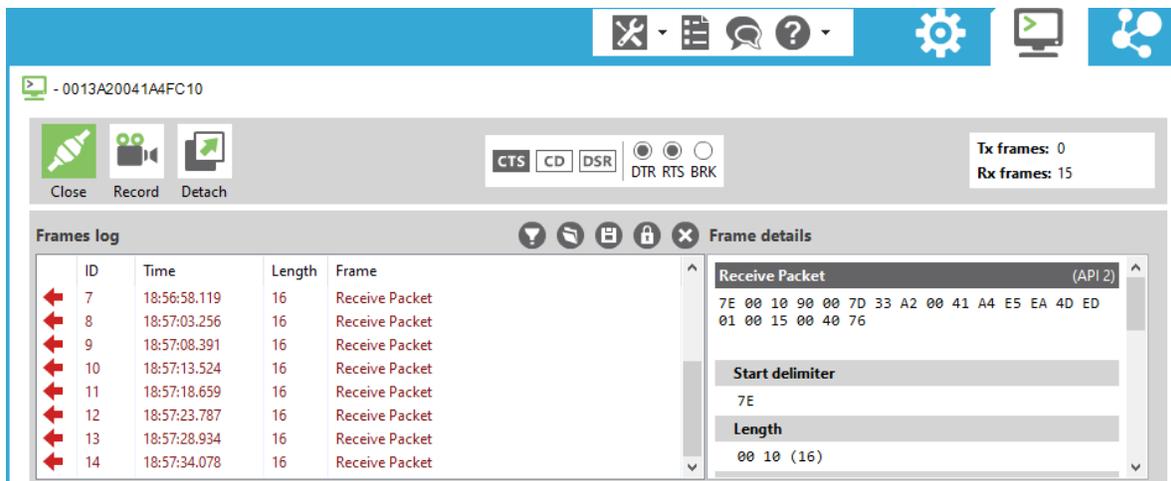
void setup() {
// Iniciar puertos serie
Serial.begin( 9600 );
xbeeSerial.begin( 9600 );
//Inicia DHT
dht.begin();
// establecer el puerto serie para el XBee
xbee.setSerial( xbeeSerial );
// Recibir estatus de paquetes enviados |
xbee.setAcknowledgement(true);
```

Fuente: Elaboración propia basada en tutorial de librería SoftwareSerial.

Una vez la información es enviada por el módulo XBee configurado como router, se puede comprobar como la información es recibida por el módulo XBee configurado como coordinador, conectando este módulo a un computador que tenga el software XCTU a través de una tarjeta XBee Explorer, En la figura 26 se observan los paquetes recibidos por el módulo XBee configurado como coordinador,

Figura 26.

Recibo de tramas por el módulo XBee configurado como coordinador.

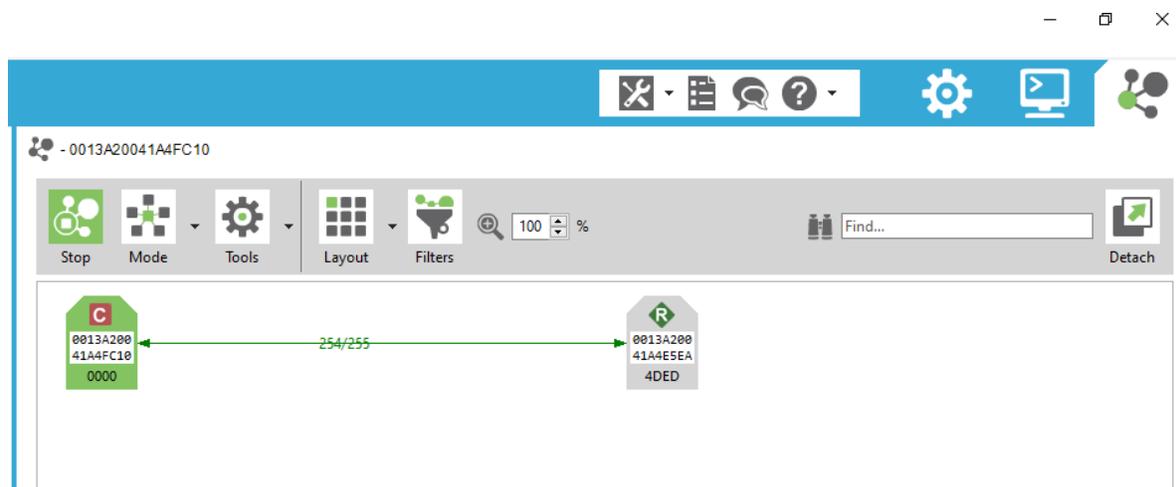


Fuente: Elaboración propia utilizando el software XCTU.

El software XCTU tiene incluida una utilidad que le permite escanear los dispositivos XBee conectados a una red, en la figura 27 se observa la red escaneada conformada por un coordinador y un router.

Figura 27.

Red Zigbee conformada por un coordinador y un router.



Fuente: Elaboración propia utilizando el software XCTU.

Protocolo de Comunicación Alámbrica entre Sensores y Gateway

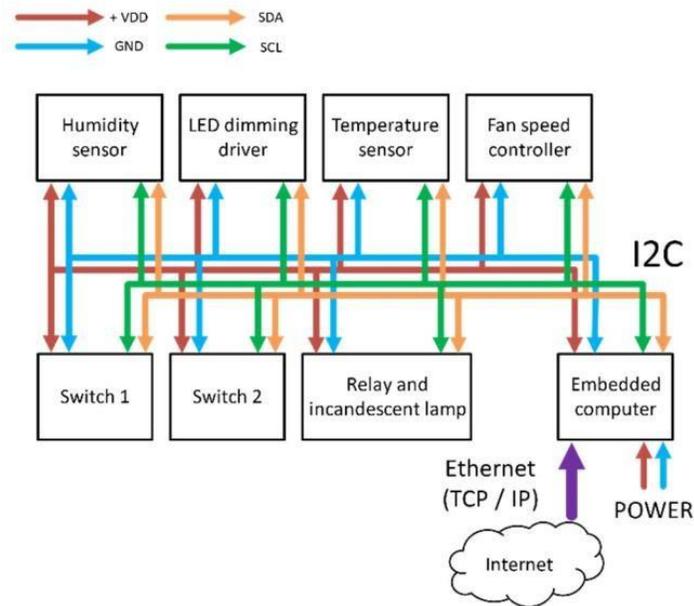
En caso que se requiera utilizar una red por cable, se plantea el uso del protocolo I2C; Liu et al. (2019) mencionan que el protocolo I2C es utilizado para transferir información entre los diferentes periféricos y los microcontroladores a baja y media velocidad; el sistema se compone de una línea de datos (SDA), una línea de reloj (SCL), la línea de voltaje y la tierra.

Pintilie et al. (2019) mencionan que el protocolo I2C (Inter Integrated Circuit) es un protocolo muy usado y fácil de implementar de tal manera que se ha constituido en un estándar para comunicaciones ligeras de circuitos integrados y microcontroladores; mediante una comunicación serial sincrónica; el modelo de comunicación es tipo maestro – esclavo, lo que implica que una unidad principal (maestra), es requerida para controlar una o más unidades secundarias (esclavas) como sensores, microcontroladores, actuadores, elementos de interface entre otros. Los dispositivos compatibles con el protocolo I2C se

conectan a través de un bus compartido y son energizados por una fuente común, el bus de alimentación consiste de una línea de voltaje (+VDD) y una de tierra (GND), el bus del protocolo I2C consiste de los cables SDA y SCL; todos los cables son conectados en paralelo en el bus I2C, la mayoría de los microcontroladores y microcomputadores utilizan 3,3V o 5V de alimentación. Un esquema del protocolo I2C se incluye en la figura 28.

Figura 28.

Ejemplo de arquitectura del protocolo de comunicaciones I2C.

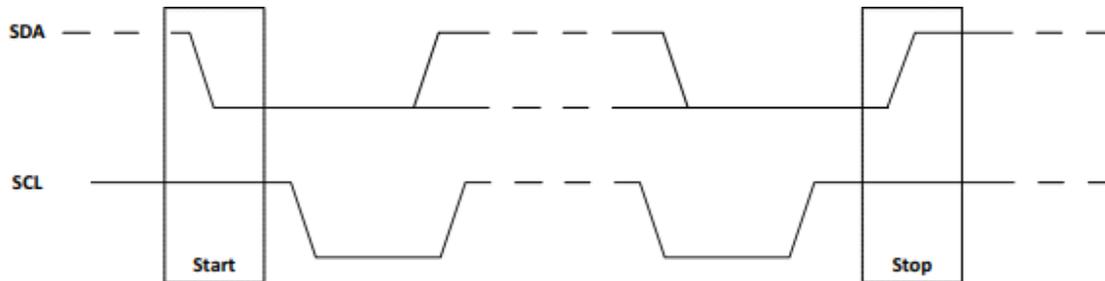


Fuente: Pintilie et al. (2019, p.2).

El protocolo inicia cuando la señal de datos pasa de uno a cero, en este momento inician los pulsos de reloj, la primera información que se transmite es la identificación del equipo esclavo y si se requiere una función de lectura o escritura; una vez transmitida la identificación del equipo este responde con una señal de reconocimiento, cuando es confirmado el reconocimiento se comienza a transmitir los datos solicitados. En la figura 29 se observa un esquema con el inicio y fin de un mensaje en el protocolo I2C.

Figura 29.

Esquema del inicio y el fin de un mensaje en el protocolo I2C.



Fuente: Liu et al. (2019, p.310).

Gateway

Se plantea el uso de dos tipos de Gateway, para el prototipado y soluciones en que todos los sensores se comuniquen por radiofrecuencia se utiliza el microcontrolador NODEMCU; en los casos que se requiera comunicación por radiofrecuencia y adicional comunicación por cable se sugiere el uso del Gateway Siemens IOT2040.

NodeMCU

El microcontrolador NODEMCU utiliza el SoC (System on Chip) ESP8266 fabricado por la compañía China Espressif, este SoC cuenta con capacidad Wi Fi; de acuerdo con Gascón Bononad (2019) las especificaciones para el NODEMCU V3 Lolin son las siguientes:

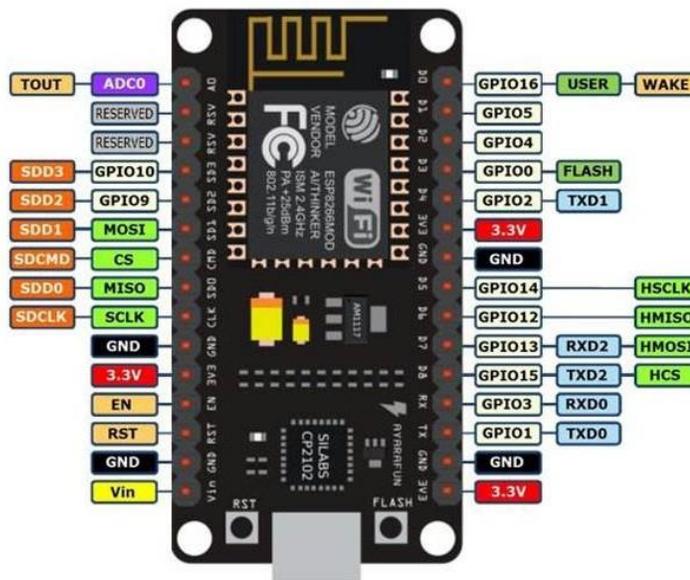
- Voltaje operativo: 3,3 V.
- Corriente de consumo: 10 μ A – 170 mA.
- Procesador: Tensilica L106 de 32 bit.
- Velocidad de reloj: 80 – 160 MHz.
- Memoria RAM: 50 kB.

- Memoria Flash: 16 MB.
- Wifi: 2,4 GHz 802.11 b/g/n
- Pines: 17 de entrada y salida de propósito general.

En la figura 30 se observa el diagrama del microcontrolador NODEMCU.

Figura 30.

Diagrama de NODEMCU.



Fuente: COMPONENTS101 <https://components101.com/development-boards/nodemcu-esp8266-pinout-features-and-datasheet>.

El microcontrolador NODEMCU está en capacidad de recibir la información enviada por radiofrecuencia a través de radios XBee y enviar esta información a la nube conectándose a internet por Wi Fi.

SIEMENS IOT2040

De acuerdo al fabricante este equipo soporta diferentes protocolos como TCP/IP, MQTT suscriptor, OPC UA, S7, con diferentes interfaces como RS232, Serial USB

Interface, Ethernet y Wi-Fi. Este equipo permite la conexión desde controladores Arduino vía comunicación serial o Ethernet. El Gateway tiene opciones de expansión con microcontroladores de Arduino o módulos Siemens.

A los datos recolectados se les puede programar un preprocesamiento en lenguajes como JAVA y C++ y el IDE de Arduino; y exportar la información a aplicaciones en la nube a través de servicios como AWS, Azure, IBM Bluemix entre otras. En la figura 31 se observa el equipo SIEMENS IOT 2040.

Figura 31.

Gateway SIEMENS IOT 2040.



Fuente: SIEMENS <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:7b2c5580-7436-4081-9ae6-7c4eba29ddd1/simaticiot2040.pdf>.

Plataformas IoT

Las plataformas de IoT ofertan soluciones en la nube que permiten recibir, almacenar y analizar los datos enviados desde diferentes ubicaciones por los sensores instalados en los sistemas físicos que se requiere monitorear. Aunque en el mercado existen soluciones de diferentes proveedores de plataformas IoT, las tres compañías más reconocidas en ofertar este tipo de soluciones son: Microsoft Azure, AWS, Google Cloud.

Muhammed & Ucuz (2020) realizaron una comparación sobre las plataformas IoT de los proveedores Microsoft Azure, AWS y Google Cloud, de acuerdo a tres categorías, a continuación se relacionan los resultados de este estudio.

La plataforma que ofrece más herramientas para facilitar la conectividad de los dispositivos y simplificar la comunicación entre dispositivos y entre estos a la nube es AWS como se observa en la tabla 5.

Tabla 5.

Comparativo entre plataformas de IoT de acuerdo a hubs disponibles.

Hubs	Microsoft Azure	AWS	Google Cloud
IoT Core		✓	✓
Greengrass		✓	
Iot Hub	✓		
Iot Device Defender		✓	
Iot Edge	✓		
IoT Device Manager		✓	

Fuente: Muhammed & Ucuz (2020, p.3).

La plataforma que ofrece mayores recursos para visualizar y analizar los datos recolectados es Microsoft Azure como se aprecia en la tabla 6.

Tabla 6.

Comparativo entre plataformas de IoT de acuerdo a servicios de analítica de datos.

Microsoft Azure	AWS	Google Cloud
Azure Monitor	Cloud Watch	BigQuery
Power BI	Quicksight	Stackdriver
Azure Storage	Amazon Kinesis	App Engine
Azure Events Hubs	IoT Analytics	Compute Engine
<u>Stream Analytics</u>		

Fuente: Muhammed & Ucuz (2020, p.3).

Las plataformas que oferta mayores herramientas de seguridad de la información recolectada son AWS y Google Cloud, en la tabla 7 se observa el comparativo entre plataformas de acuerdo a los servicios de seguridad de la información ofertados.

Tabla 7.

Comparativo entre plataformas de IoT de acuerdo a servicios de seguridad de la información.

Servicios de Seguridad	Microsoft Azure	AWS	Google Cloud
TLS for device-cloud encryption	✓	✓	✓
JSON Web Tokens	✓	✓	✓
On-device X.509 Certification and Private Keys	✓	✓	✓
IAM Users and Groups		✓	✓
Amazon Cognito Identities		✓	
RSA and Elliptic Curve			✓

Fuente: Muhammed & Ucuz (2020, p.4).

Para correr las pruebas del proyecto se utiliza la plataforma IoT Thingspeak, la cual de acuerdo con Nettikadan & Raj (2018) permite recopilar datos en tiempo real, analizarlos y reaccionar de acuerdo a estos; es una aplicación de código abierto originalmente lanzada en 2010; la recopilación de datos es hecha a través de REST API o MQTT, el análisis de los datos es realizado utilizando MATLAB; varias acciones se pueden realizar usando apps proveídas por esta plataforma para una fácil integración con servicios web, redes sociales y otras APIs. El principal componente de Thingspeak es el canal, el cual almacena los datos enviados por varios dispositivos, cada canal puede almacenar hasta ocho campos junto con su ubicación geográfica y url entre otras referencias. Los canales se pueden hacer públicos o privados, en el caso de los canales privados necesitan una API key para ver o escribir datos, los canales privados pueden ser compartidos con usuarios definidos previamente.

Plataformas IoT Sugeridas AWS y Thingspeak

En la literatura consultada hay referencias de modelos de monitoreo que utilizan la plataforma Thingspeak, entre ellos Nettikadan & Raj (2018) que describen el monitoreo inteligente de una red de casas en una geografía determinada y Pasha (2016) que describe un sistema de monitoreo y análisis utilizando Thingspeak y Matlab,

El portal G2 (2022) realiza una comparación entre los servicios proporcionados por AWS IoT y Thingspeak basado en las preferencias de los usuarios, dentro de los aspectos relevantes de la encuesta se encuentran que AWS predomina entre las grandes compañías mientras que Thingspeak es utilizado en mayor porcentaje en compañías medianas. AWS es percibido como una opción de mayor calidad, respaldo técnico y funcionalidades en actualizaciones respecto a Thingspeak, sin embargo los usuarios consideran que Thingspeak cumple con las necesidades de sus negocios.

Al analizar la información presentada por Muhammed & Ucuz (2020) se considera que AWS es la plataforma IoT más adecuada para desarrollar un sistema de monitoreo remoto de activos productivos dentro de una aplicación comercial, lo anterior basado en la facilidad de conexión entre dispositivos a la nube y las herramientas de seguridad ofrecidas; sin embargo para el alcance del presente proyecto se considera que Thingspeak es la plataforma adecuada para desarrollar las pruebas de envío de datos a la nube debido a la facilidad para configurar un canal y el soporte que esta plataforma ofrece para comunicación utilizando el protocolo MQTT.

Descripción Plataforma AWS IoT

De acuerdo con la guía de desarrollador de AWS IoT las siguientes herramientas proveen soporte para conectar los dispositivos a los servicios prestados por AWS en el campo de IoT:

Software para Dispositivos

Estas herramientas proveen soporte para conectar los dispositivos.

AWS IoT Greengrass. Este software extiende los servicios de AWS al borde (Edge), de tal manera que se puede tratar los datos recolectados localmente antes de ser transferidos a la nube. Este software permite que los mecanismos conectados puedan correr funciones AWS Lambda (esta función permite correr código sin gestión de servidores), contenedores Docker y ejecutar predicciones basadas en machine learning y comunicarse con otros dispositivos aún sin tener conexión a internet.

AWS IoT Device Tester. Es una herramienta que permite saber si un dispositivo puede correr el software AWS IoT Greengrass y FreeRTOS.

FreeRTOS. Es un sistema operativo libre de tiempo real para microcontroladores que abarca pequeños dispositivos de bajo consumo conectados a IoT.

AWS IoT Device SDKs. Esta herramienta incluye guías de desarrollador, librerías de código abierto para facilitar la construcción de soluciones IoT.

Servicios de Control

Estas herramientas soportan la gestión de los dispositivos conectados.

AWS IoT Core. Es una aplicación en la nube que permite la conexión de los dispositivos y el acceso a otros servicios de AWS.

AWS IoT Device Management. Esta herramienta ayuda a gestionar los dispositivos conectados al proveer acceso seguro, monitorear su estado, detectar y solucionar problemas de forma remota y gestionar actualizaciones a los diferentes dispositivos.

AWS IoT Device Defender. Esta herramienta monitorea de forma continua la conexión de los diferentes dispositivos para prevenir desviaciones de seguridad, envía alarmas cuando es requerido.

Things Graph. Esta herramienta permite visualizar los diferentes dispositivos conectados a la solución.

Servicios de datos

Este software analiza los datos recolectados y toma las acciones programadas.

AWS IoT Analytics. Esta herramienta permite filtrar, transformar y almacenar en series de tiempo los datos recolectados para análisis, los análisis se pueden automatizar realizando usando consultas de base de datos SQL o machine learning.

AWS IoT Site Wise. Este software recolecta, almacena, organiza y monitorea datos provenientes de equipos industriales vía mensajes MQTT o APIs, el software corre en el gateway del cliente y se conecta de forma segura a la nube AWS.

AWS IoT Events. Este software detecta y responde a patrones de eventos en el conjunto de sensores desplegados, este monitoreo de datos se puede integrar con otras herramientas de AWS.

Conexión de los Dispositivos

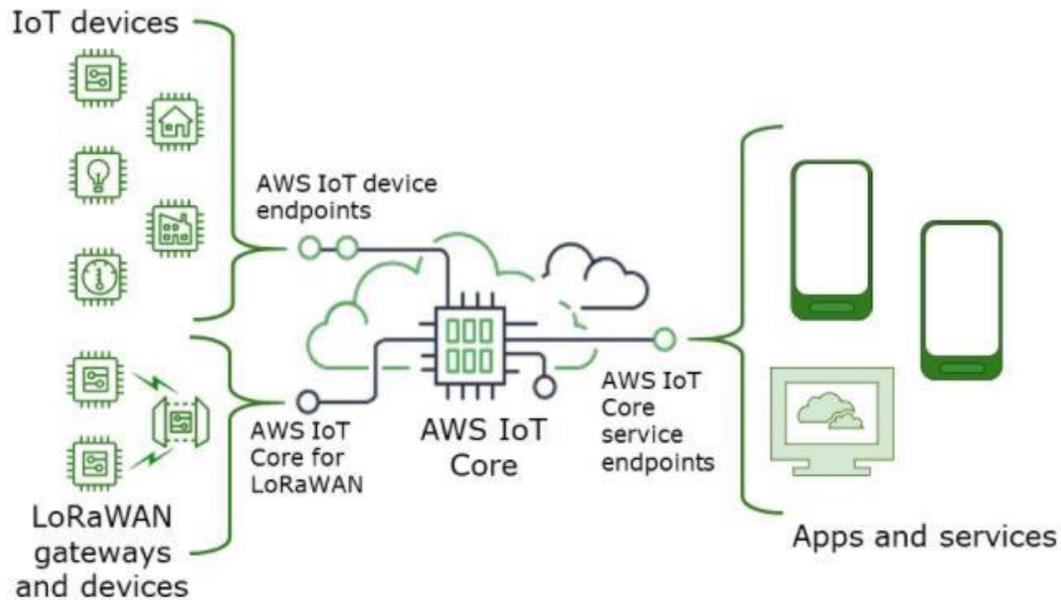
El servicio encargado de la conexión de los dispositivos a la nube en AWS se llama AWS IoT Core, Este servicio provee el software requerido para conectar los dispositivos físicos a los servicios proveídos por AWS en la nube, AWS IoT Core soporta los siguientes protocolos de comunicaciones:

- MQTT (Message Queuing and Telemetry Transport)
- MQTT sobre WSS (Websockets Secure)
- HTTPS (Hypertext Transfer Protocol - Secure)
- LoRaWan (Long Range Wide Area Network)

En la figura 32 se muestra un diagrama general de la conexión de los dispositivos a AWS IoT Core.

Figura 32.

Diagrama de conexión a AWS IoT Core.



Fuente: AWS IoT Core Developer Guide, p.68

https://docs.aws.amazon.com/es_es/iot/latest/developerguide/iot-dg.pdf.

Los puntos de enlace de servicio suministran funciones de control y administración de la solución IoT, mientras que los puntos de enlace de dispositivos soportan la comunicación entre los dispositivos y AWS IoT.

El software de AWS IoT Core se compone de servicios de mensajería, control y datos, a continuación se detallan estos servicios de acuerdo con la guía de desarrollador de AWS IoT:

Servicios de Mensajería. Esta herramienta provee servicios de conectividad y gestión de mensajes utilizando protocolos de seguridad que usan certificados X.509. X.509

es un formato para certificados que asocian de forma segura claves criptográficas con identidades.

Device Gateway. Establece la comunicación entre los dispositivos y AWS IoT Core utilizando certificados X.509.

Message Broker. Provee un mecanismo para que entre los dispositivos y AWS IoT Core se publiquen y reciban mensajes utilizando el protocolo MQTT o MQTT sobre WebSocket.

Rules Engine. Conecta los datos del broker con otros servicios de AWS como almacenamiento y procesamiento adicional.

Servicios de Control. Provee los servicios de seguridad, administración y registro.

Servicio de Autenticación. Esta herramienta ofrece servicios de autenticación personalizada utilizando diferentes estrategias como JSON Web Token o el protocolo de autenticación OAuth.

Aprovisionamiento de Dispositivos. Esta herramienta define los recursos que requieren los dispositivos para comunicarse con AWS, estos recursos son su registro, un certificado de autenticación X.509 y una política.

Registro de Grupos. Esta herramienta permite crear y administrar grupos de dispositivos de categoría similar, crear jerarquías de grupos para crear acciones que afecten a los dispositivos agrupados como otorgamiento de permisos.

Jobs Service. Permite definir un conjunto de instrucciones que serán enviadas de forma remota a uno o más dispositivos conectados a AWS IoT.

Registro. Organiza los recursos asociados a cada dispositivo conectado a AWS. Es posible asociar los dispositivos con los certificados y los identificadores (IDs) de los clientes MQTT.

Servicio de Seguridad e Identidad. Es el proceso mediante el cual los dispositivos y otros clientes se autentican con AWS.

Servicios de Datos. Ayuda a suministrar una experiencia confiable así los dispositivos no estén siempre conectados.

Device Shadow. Este es un documento JSON usado para almacenar y recuperar el estado actual de un dispositivo.

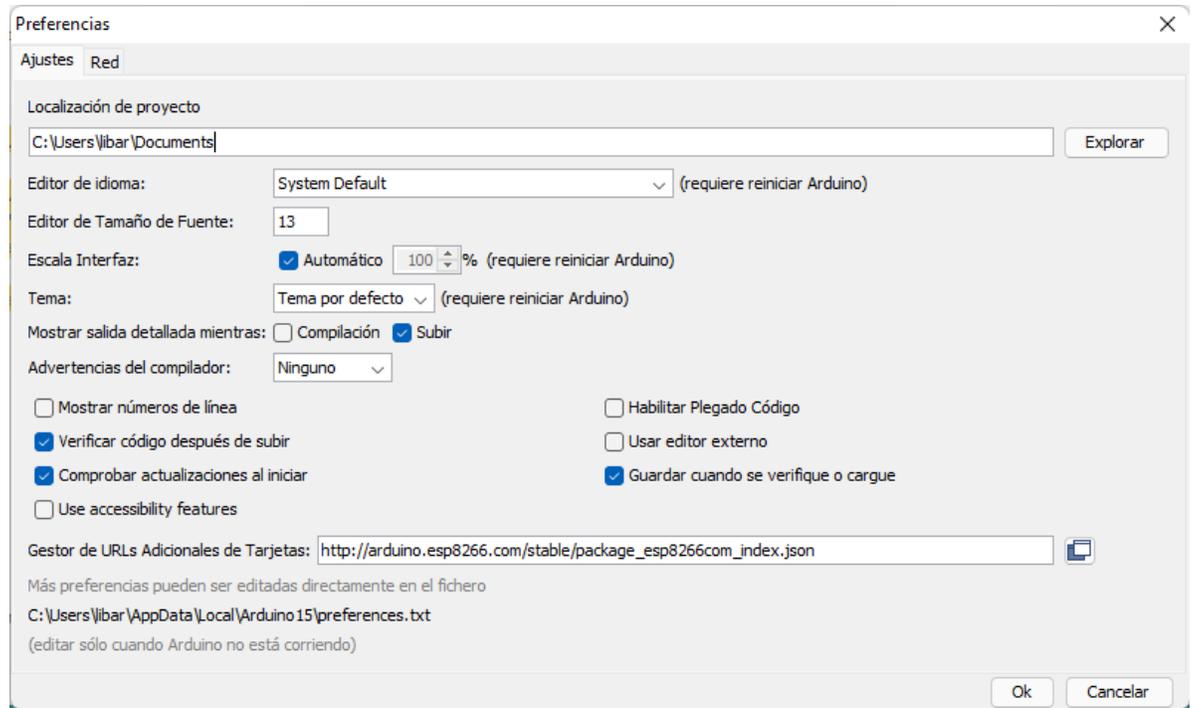
Device Shadow Service. Las sombras (shadows) permiten que un dispositivo sea disponible para una aplicación este o no conectado; las sombras proporcionan un almacén de datos para dispositivos, aplicaciones y otros servicios en la nube, así cuando un dispositivo se desconecta una aplicación puede seguir comunicándose con AWS IoT y la sombra del dispositivo.

Envío de Datos a Plataforma IoT Thingspeak

Se realiza una prueba de envío de datos recopilados por sensores de temperatura y humedad DHT11 a través de microcontroladores NODEMCU, la programación del NODEMCU se realiza en el IDE de Arduino, los preparativos consisten en cargar al IDE de Arduino la bibliotecas DHT del sensor y la biblioteca ESP8266WiFi que controla la conexión a Wi Fi del microcontrolador, además en el IDE de Arduino en el menú de archivo y la opción de preferencias, se actualiza la opción del gestor de URLs adicionales de tarjetas a la correspondiente al chip ESP8266. En la figura 33 se presenta un recorte con la configuración de preferencias en el IDE de Arduino.

Figura 33.

Configuración de preferencias en IDE Arduino.



Fuente: Elaboración propia utilizando el IDE de Arduino.

La programación del NODEMCU está basada en el código del artículo publicado en la página How to Electronics (2020), en la figura 34 se observa un segmento del código utilizado.

Figura 34.

Programa para envío de datos a la plataforma IoT Thingspeak.



```
Prueba_de_comunicaci_n_a_Thingspeak Arduino 1.8.12
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

Prueba_de_comunicaci_n_a_Thingspeak

#include <ESP8266WiFi.h>
#define DHTPIN 2

DHT dht(DHTPIN, DHT11);

WiFiClient client;

void setup()
{
  Serial.begin(115200);
  delay(10);
  dht.begin();

  Serial.println("Conectando a ");
  Serial.println(ssid);

  WiFi.begin(ssid, pass);

  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED)
  {
    delay(500);
    Serial.print(".");
  }
  Serial.println("");
  Serial.println("WiFi conectado");
}

Compilado

El Sketch usa 278053 bytes (26%) del espacio de almacenamiento d
Las variables Globales usan 28608 bytes (34%) de la memoria diná
Module), 80 MHz, Flash, Disabled (new aborts on oom), Disabled, All SSL ciphers (most compatible), 32KB e
```

Fuente: Adaptación de programa publicado en sitio web How to Electronics.

<https://how2electronics.com/dht11-humidity-temperature-nodemcu-thingspeak/#:~:text=The%20DHT11%20is%20a%20basic,careful%20timing%20to%20grab%20data.>

El siguiente paso es crear un canal en la plataforma del internet de las cosas Thingspeak, este canal está conformado por dos puntos de monitoreo uno ubicado en la ciudad de Bogotá y otro en Cali, de los puntos de monitoreo se recopilan datos de temperatura y humedad, los datos que se envían desde el microcontrolador son validados por Thingspeak a través de una API key, la cual es una llave que proporciona la plataforma IoT para autorizar el recibo de los datos al canal. En la figura 35 se incluye un recorte con la configuración del canal de recibo de datos en la plataforma IoT Thingspeak.

Figura 35.

Configuración del canal de recibo de datos en la plataforma IoT Thingspeak.

The screenshot shows the 'Channel Settings' page in the Thingspeak interface. At the top, there is a navigation bar with 'Channels', 'Apps', 'Devices', and 'Support' menus. Below this, there are tabs for 'Private View' and 'Public View', and a 'Channel Settings' section with sub-tabs for 'Sharing', 'API Keys', and 'Data'. The main content area is titled 'Channel Settings' and displays the following information:

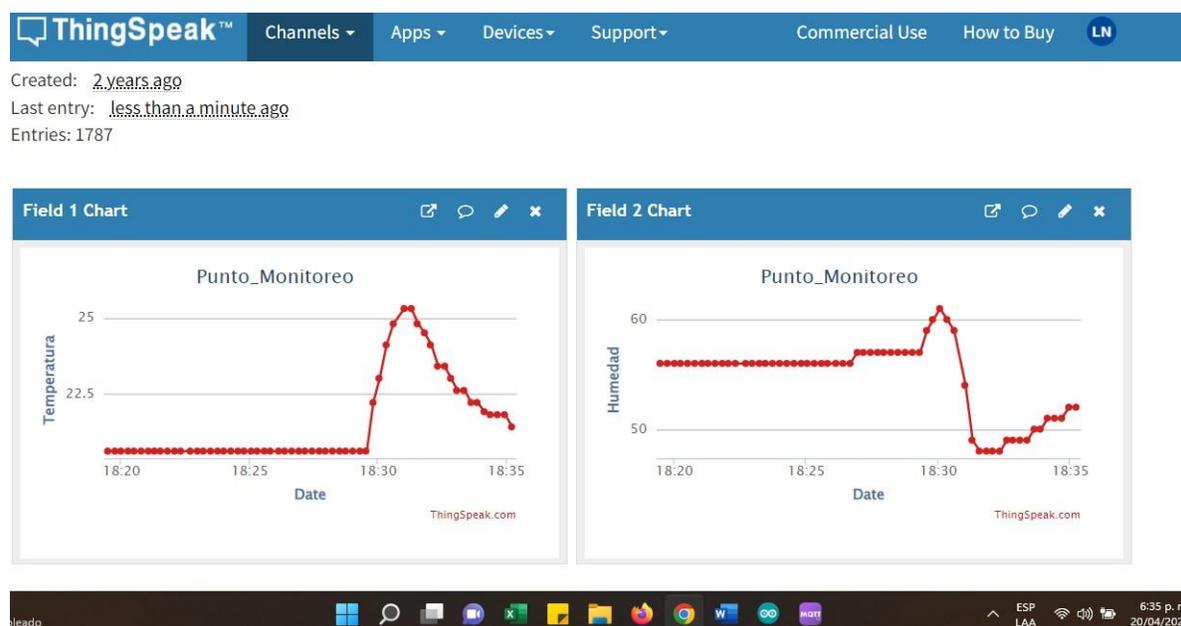
- Percentage complete:** 50%
- Channel ID:** 926602
- Name:** Punto_Monitoreo
- Description:** Monitoreo de variables del lugar seleccionado
- Field 1:** Temperatura (checked)
- Field 2:** Humedad (checked)

Fuente: Elaboración propia utilizando la plataforma IoT Thingspeak.

En la figura 36 se observa el envío de los datos de temperatura y humedad desde el sitio de monitoreo seleccionado en tiempo real a la plataforma Thingspeak.

Figura 36.

Gráficos de datos de temperatura y humedad recibidos en la plataforma IoT Thingspeak.

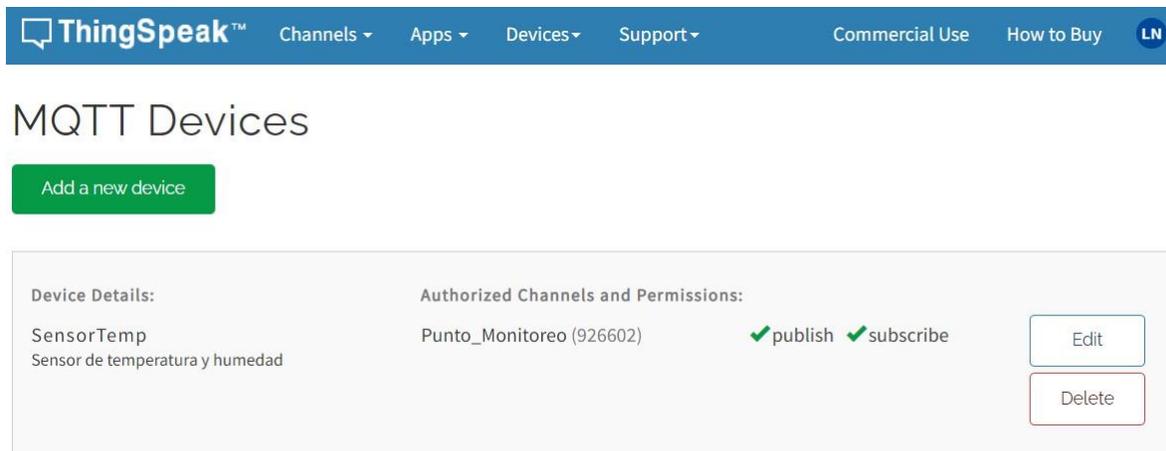


Fuente: Elaboración propia utilizando la plataforma IoT Thingspeak.

A continuación se procede a exportar los datos recopilados desde la plataforma Thingspeak a un cliente MQTT para comprobar la factibilidad de compartir los datos presentes en la plataforma IoT con cualquier cliente que desee suscribirse y tenga las credenciales que lo habiliten, el cliente seleccionado para esta prueba es MQTT.fx. En primer lugar se crea un dispositivo MQTT en la opción dispositivos del menú horizontal de Thingspeak, para esta prueba se otorgan permisos para publicar y suscribir. Se observa la configuración de dispositivos MQTT en la plataforma IoT Thingspeak en la figura 37.

Figura 37

Configuración de dispositivos MQTT en la plataforma IoT Thingspeak.



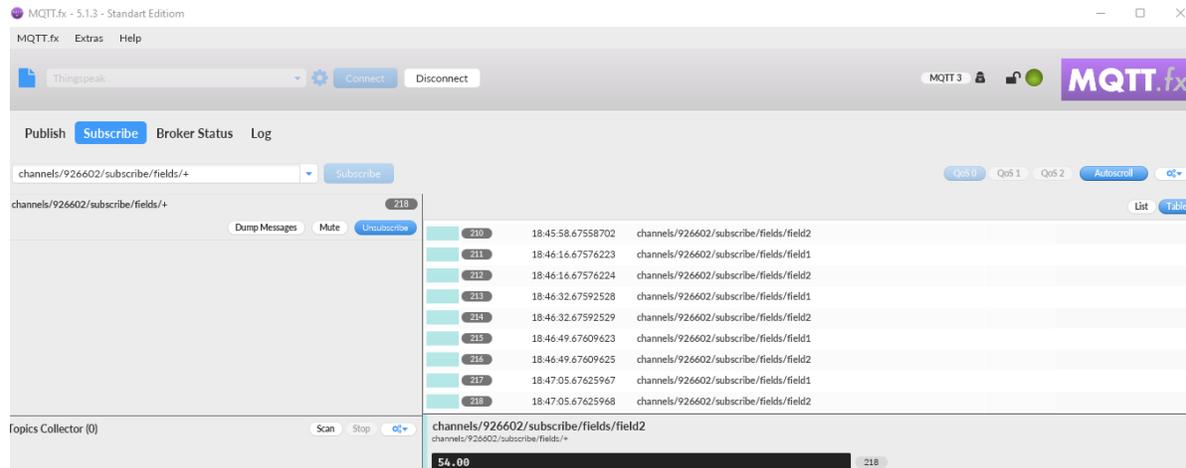
Fuente: Elaboración propia utilizando la plataforma IoT Thingspeak.

Prueba de Comunicación entre Thingspeak y un Cliente MQTT

Para la depuración y prueba de comunicación entre la plataforma IoT Thingspeak y los clientes MQTT se utiliza el programa MQTT.fx, este programa tiene una versión de prueba con la que se realiza el test, en primer lugar se debe configurar el cliente en MQTT.fx para que pueda suscribirse al dispositivo creado en Thingspeak, para validarse se proporciona la API key de lectura, la dirección URL de Thingspeak y el número del canal, una vez realizados estos pasos previos, se presenta en la figura 38 un recorte de la aplicación cliente MQTT.fx recibiendo la información del canal al cual está suscrito y que contiene los datos recopilados por los sensores en los puntos de monitoreo.

Figura 38.

Prueba de recibo de datos desde la plataforma IoT Thingspeak al cliente MQTT.fx.



Fuente: Elaboración propia utilizando el cliente MQTT.fx..

El cliente MQTT.fx tiene una función de log en la cual es posible analizar el comportamiento de la comunicación por medio del protocolo MQTT entre Thingspeak y el cliente MQTT.fx, en la figura 39 se observa un recorte de esta función.

Figura 39.

Función de log disponible en el cliente MQTT.fx.

```

Publish  Subscribe  Broker Status  Log
2022-04-20 18:55:32,699 INFO --- ScriptsController : Clear console.
2022-04-20 18:55:32,610 INFO --- MqttFXClient : attempt to connect version: 3.1.1
2022-04-20 18:55:33,664 INFO --- MqttFXClientModel : MqttClient with ID Optional[LCC3DAAUHgsMJh8tAzsxHis] assigned.
2022-04-20 18:55:33,664 INFO --- MqttFXClient : connected: CONNACK
2022-04-20 18:55:33,665 INFO --- MqttFXClient : session present: false
2022-04-20 18:55:37,320 INFO --- SubscribeController : onSubscribe
2022-04-20 18:55:37,321 INFO --- MqttFXClientModel : rebuildMessagesList()
2022-04-20 18:55:37,321 INFO --- MqttFXClientModel : attempt to addRecentSubscriptionTopic
2022-04-20 18:55:37,321 INFO --- MqttFXClientModel : addRecentSubscriptionTopic : channels/926602/subscribe/fields/+
2022-04-20 18:55:37,321 INFO --- MqttFXClientModel : attempt to add PublishTopic
2022-04-20 18:55:37,322 INFO --- SubscribeController : SUB ADDED:channels/926602/subscribe/fields/+
2022-04-20 18:55:37,324 INFO --- MqttFXClient : successfully subscribed to topic channels/926602/subscribe/fields/+ (QoS 0)
2022-04-20 18:55:44,888 INFO --- Mqtt3Consumer : messageArrived() with topic: channels/926602/subscribe/fields/field1
2022-04-20 18:55:44,889 INFO --- Mqtt3Consumer : messageArrived() added: message #229 to topic 'channels/926602/subscribe/fields/field1'
2022-04-20 18:55:44,890 INFO --- Mqtt3Consumer : Wildcard-Topic: channels/926602/subscribe/fields/field1
2022-04-20 18:55:44,892 INFO --- Mqtt3Consumer : messageArrived() with topic: channels/926602/subscribe/fields/field2
2022-04-20 18:55:44,892 INFO --- Mqtt3Consumer : messageArrived() added: message #230 to topic 'channels/926602/subscribe/fields/field2'
2022-04-20 18:55:44,892 INFO --- Mqtt3Consumer : Wildcard-Topic: channels/926602/subscribe/fields/field2
2022-04-20 18:56:02,592 INFO --- Mqtt3Consumer : messageArrived() with topic: channels/926602/subscribe/fields/field1
2022-04-20 18:56:02,593 INFO --- Mqtt3Consumer : messageArrived() added: message #231 to topic 'channels/926602/subscribe/fields/field1'
2022-04-20 18:56:02,593 INFO --- Mqtt3Consumer : Wildcard-Topic: channels/926602/subscribe/fields/field1
2022-04-20 18:56:02,594 INFO --- Mqtt3Consumer : messageArrived() with topic: channels/926602/subscribe/fields/field2
2022-04-20 18:56:02,595 INFO --- Mqtt3Consumer : messageArrived() added: message #232 to topic 'channels/926602/subscribe/fields/field2'
2022-04-20 18:56:02,595 INFO --- Mqtt3Consumer : Wildcard-Topic: channels/926602/subscribe/fields/field2
2022-04-20 18:56:18,619 INFO --- Mqtt3Consumer : messageArrived() with topic: channels/926602/subscribe/fields/field1
2022-04-20 18:56:18,620 INFO --- Mqtt3Consumer : messageArrived() added: message #233 to topic 'channels/926602/subscribe/fields/field1'
2022-04-20 18:56:18,620 INFO --- Mqtt3Consumer : Wildcard-Topic: channels/926602/subscribe/fields/field1
2022-04-20 18:56:18,737 INFO --- Mqtt3Consumer : messageArrived() with topic: channels/926602/subscribe/fields/field2
2022-04-20 18:56:18,738 INFO --- Mqtt3Consumer : messageArrived() added: message #234 to topic 'channels/926602/subscribe/fields/field2'
2022-04-20 18:56:18,738 INFO --- Mqtt3Consumer : Wildcard-Topic: channels/926602/subscribe/fields/field2
2022-04-20 18:56:34,735 INFO --- Mqtt3Consumer : messageArrived() with topic: channels/926602/subscribe/fields/field1
2022-04-20 18:56:34,736 INFO --- Mqtt3Consumer : messageArrived() added: message #235 to topic 'channels/926602/subscribe/fields/field1'
2022-04-20 18:56:34,737 INFO --- Mqtt3Consumer : Wildcard-Topic: channels/926602/subscribe/fields/field1
2022-04-20 18:56:34,737 INFO --- Mqtt3Consumer : messageArrived() with topic: channels/926602/subscribe/fields/field2
2022-04-20 18:56:34,738 INFO --- Mqtt3Consumer : messageArrived() added: message #236 to topic 'channels/926602/subscribe/fields/field2'
2022-04-20 18:56:34,739 INFO --- Mqtt3Consumer : Wildcard-Topic: channels/926602/subscribe/fields/field2
    
```

Fuente: Elaboración propia utilizando el cliente MQTT.fx..

Herramientas de Análisis y Visualización de Datos en Thingspeak

De acuerdo con la página web MathWorks (2022), Thingspeak es una plataforma de analítica de IoT que permite visualizar y analizar los datos transmitidos a la nube, las herramientas de análisis y visualización son provistas por la plataforma de programación y calculo numérico integrada MATLAB. Las herramientas de visualización admiten configurar gráficos interactivos, las herramientas de análisis permiten a través de código MATLAB evaluar los datos y escribir los resultados solicitados en un canal de Thingspeak.

Como ejemplo de las herramientas de visualización de datos se presenta en la figura 40 la lectura de temperatura enviada por el sensor de un punto de monitoreo a la plataforma

Thingspeak, en esta visualización se ha incluido un rango de temperatura normal y otro de alerta.

Figura 40.

Temperatura de punto de monitoreo con rangos normal y alerta.

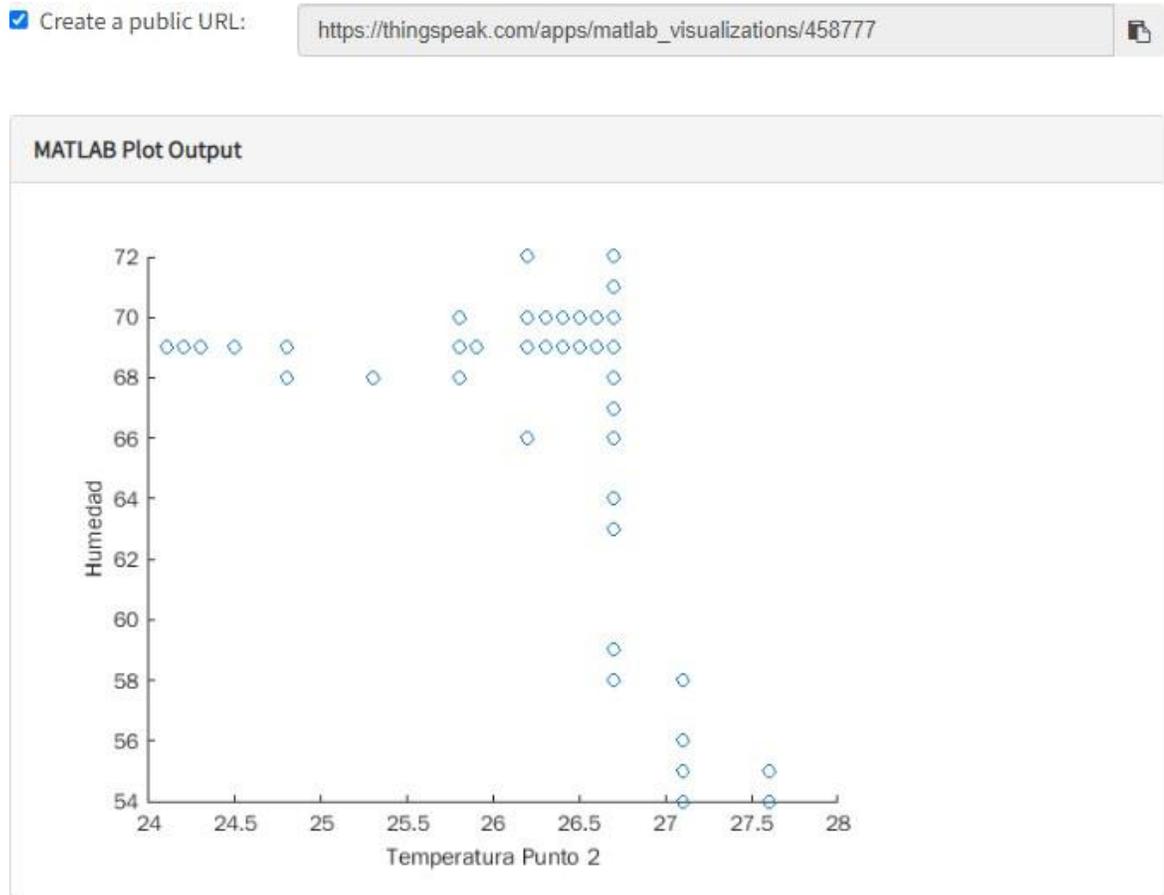


Fuente: Elaboración propia utilizando la plataforma IoT Thingspeak.

Como ejemplo de las herramientas de análisis disponibles en Thingspeak se presenta en la figura 41 la correlación entre la temperatura y la humedad de un punto de monitoreo, para configurar este grafico se utilizó código de ejemplo disponible en los tutoriales de la plataforma Thingspeak. Este tipo de gráficos pueden ser publicados vía web a través de la correspondiente dirección URL

Figura 41.

Análisis de correlación entre temperatura y humedad.



Fuente: Elaboración propia utilizando la plataforma IoT Thingspeak.

En la figura 42 se presenta el código utilizado basado en los tutoriales de ThingSpeak para elaborar la correlación entre humedad y temperatura.

Figura 42.

Código para elaborar correlación entre temperatura y humedad del punto de monitoreo.

Name

Correlación entre temperatura y humedad punto de muestreo 2

MATLAB Code

```
1 % Código para correlacionar temperatura y humedad de punto de monitoreo
2 % basado en los tutoriales de ThingSpeak
3 |
4 readChannelID = 926602;
5 TemperatureFieldID = 5;
6 HumidityFieldID = 4;
7
8 readAPIKey = 'V0LEJOG994MMB1YV';
9
10 data = thingSpeakRead(readChannelID,'Fields',[TemperatureFieldID HumidityFieldID], ...
11                       'NumPoints',300, ...
12                       'ReadKey',readAPIKey);
13 temperatureData = data(:,1);
14
15 humidityData = data(:,2);
16
17 scatter(temperatureData,humidityData);
18 xlabel('Temperatura Punto 2');
19 ylabel('Humedad');
```

Save and Run Save

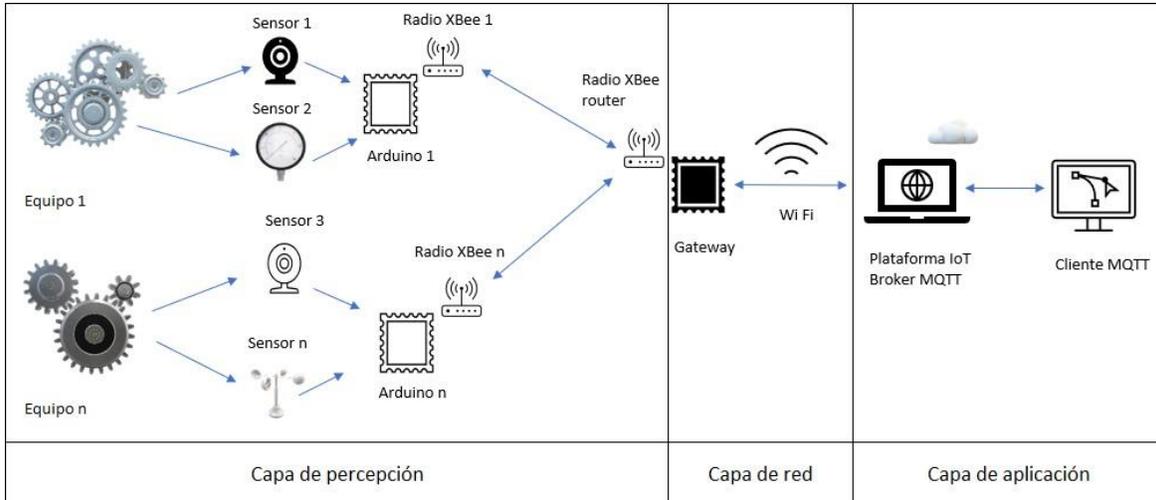
Fuente: Elaboración propia utilizando la plataforma IoT Thingspeak y los tutoriales disponibles en esta plataforma.

Arquitectura IoT del Modelo de Gestión para Monitoreo de Activos

En la figura 43 se observa el diagrama de la arquitectura IoT del modelo de gestión de monitoreo de activos, distinguiéndose de izquierda a derecha las capas de percepción, de red y de aplicación, de acuerdo a la segmentación que menciona Roihan et al (2019).

Figura 43.

Diagrama de modelo de gestión para monitoreo de activos.



Fuente: Elaboración propia.

Capa de Percepción del Modelo

La capa de percepción la constituyen el conjunto de sensores instalado que captan los datos de las variables relevantes del grupo de equipos mantenibles propuestos a monitorear, los microcontroladores Arduino Uno que recopilan los datos recibidos de los sensores, en esta capa los datos que llegan al microcontrolador son convertidos en tramas que permiten identificar a que equipo pertenecen y cual sensor está transmitiendo, las tramas con los datos son enviadas por medio de radios Xbee desde los nodos de la red a un Xbee configurado como router que recopila la información utilizando un protocolo Zigbee.

Capa de Red del Modelo

En la capa de red los datos provenientes del radio XBee configurado como router y recibidos por el microcontrolador NODEMCU configurado como gateway, son transmitidos por WiFi a una plataforma IoT que almacena los datos en la nube.

Capa de Aplicación del Modelo

La capa de aplicación la constituye la plataforma IoT y los diferentes clientes suscritos; para las pruebas se utilizó la plataforma IoT ThingSpeak, que permite configurar un canal que recibe los datos y actuar como broker MQTT, diferentes clientes MQTT puedan solicitar información recolectada por los sensores y almacenada en la plataforma IoT, en este proyecto se realizaron pruebas con el cliente MQTT.fx.

Aspectos Relevantes del Modelo

A continuación se realiza un compendio los aspectos más importantes del modelo presentado:

- Se identifican los requerimientos de monitoreo de acuerdo a los tipos de activos productivos y variables de funcionamiento.
- Se evalúan las diferentes tecnologías de monitoreo de activos productivos a través de un esquema de vigilancia tecnológica
- Se establecen parámetros de selección de las tecnologías a utilizar que incluyen costo, fácil consecución de los componentes, uso de software libre, fácil instalación con un mínimo de modificaciones.
- Se selecciona el uso de una red Zigbee sobre una plataforma Arduino
- Como Gateway para las pruebas del modelo y soluciones en que todos los sensores se comuniquen por radiofrecuencia se plantea el uso de un microcontrolador NODEMCU; cuando se requiera utilizar comunicación por radiofrecuencia y además por cable se sugiere el uso del equipo Siemens IOT2040.

- Se selecciona la plataforma IoT Thingspeak para las pruebas del modelo, sin embargo para una futura aplicación comercial se recomienda la utilización de AWS de acuerdo al análisis presentado.
- Dentro del test realizado, se presenta la transmisión de datos recolectados por los sensores en la red Zigbee, el envío de datos a la plataforma IoT Thingspeak, la suscripción de un cliente MQTT a la plataforma IoT ThingSpeak y algunas herramientas de visualización y análisis disponibles en la plataforma IoT provistas por MATLAB.

Lineamientos del Modelo de Gestión de Monitoreo de Activos Utilizando BPM

Reijers (2021), menciona que BPM es una idea de administración basada en que las organizaciones tienen un desempeño superior cuando focalizan su atención en sus procesos de negocio de principio a fin; implica comprender los pasos que se llevan a cabo dentro de los procesos de negocio, la gente que está involucrada, la información que se intercambia y procesa, y la tecnología involucrada; al alinear y optimizar estos elementos la organización mejora sus productos y/o servicios.

Dimensiones de la Metodología BPM

BPM identifica en la organización las siguientes dimensiones: negocio, proceso y gestión.

Negocio. De acuerdo con Arevalo (2018), BPM promueve el logro de los fines y objetivos de negocio de la compañía como crecimiento, innovación, productividad, fidelidad y satisfacción de los clientes, debido a que BPM incorpora capacidades para alinear actividades operacionales con objetivos y estrategias, focaliza recursos y actividades para generar valor para los clientes.

Proceso. Según Arevalo (2018) los procesos operacionales transforman los recursos o materiales en productos y servicios para los clientes; esta transformación constituye el objeto del negocio, al ser más efectivo, mayor valor agregado aportará; al utilizar BPM los procesos de negocio son más efectivos, ágiles y transparentes, los problemas se resuelven en menor tiempo, los errores se minimizan mediante la automatización y la coordinación de personas, información y sistemas.

Gestión. La dimensión de la gestión se encarga de la capacitación y de otorgar las herramientas requeridas para el éxito empresarial. BPM reúne los sistemas, métodos y técnicas de desarrollo de procesos y gestión en un sistema estructurado, visible y con los controles necesarios para coordinarlo. Arevalo (2018).

Ciclo de Vida de BPM

Cetina (2016) relaciona las siguientes fases que conforman el ciclo de vida del proyecto:

- Diseñar. Es la parte más relevante del proceso, se definen los objetivos y estrategias con el propósito de cumplir la dimensión del valor.
- Modelar. Se definen los usuarios, roles, las reglas y se comprueba que el proceso solucione la necesidad para la cual fue concebido.
- Ejecutar. Se reemplaza el proceso actual por el optimizado o se pone en marcha el nuevo proceso automatizando las tareas y cumpliendo los objetivos del negocio.
- Controlar. Se monitorea el proceso para comprobar que se esté ejecutando correctamente.
- Optimizar. Se identifican aspectos por mejorar, cuellos de botella que deben ser analizados y generar los cambios que correspondan.

Modelo de Gestión Basado en el Ciclo de Vida de BPM

Política

Brindar un servicio de adquisición de información en tiempo real de variables críticas de activos productivos a las empresas del sector industrial, construcción y minería, el proceso de monitoreo debe generar valor a sus usuarios al reducir costos operativos por medio de una oportuna administración de los equipos productivos.

Roles del Modelo

Para del desarrollo del modelo de gestión para monitoreo de activos se definen los siguientes roles:

- **Director del Proyecto.** El director del proyecto se encarga de la operación general de los proyectos de monitoreo de activos, las definiciones de los proceso de negocio, la definición de las reglas y requerimientos del negocio.
- **Consultor de Procesos de Negocio.** Es el encargado de construir y analizar los modelos operacionales, ayudar a definir las reglas de negocio y diagramar en una herramienta de modelado, definir las soluciones a los problemas con costo y calidad.
- **Gestor de Proyecto.** El gestor del proyecto se encarga de ejecutar las tareas y definiciones que previamente se han planeado para el óptimo desarrollo del proyecto de monitoreo de activos en tiempo y costo

Modelo BPM

Una vez definidos los roles el siguiente paso es modelar el proceso, para realizar esta actividad se utiliza el software Bizagi Modeler, de acuerdo con el sitio web de esta compañía, este Software permite a las organizaciones crear y documentar los procesos de

negocio en un repositorio central en la nube para obtener un mejor entendimiento de cada paso e identificar las oportunidades de mejora de los procesos para aumentar la eficiencia de la organización.

En la figura 44 se presenta el modelo BPM para la Gestión de Monitoreo de Activos Productivos, se divide el modelo en las cinco etapas del ciclo de vida de BPM, las fases de ejecutar, controlar y optimizar no están dentro del alcance de este proyecto, quedan descritas como hoja de ruta propuesta para desarrollar un emprendimiento futuro.

La fase de diseño inicia con la identificación de las barreras de entrada, el análisis de los diferentes tipos de equipos productivos y las variables requeridas a monitorear, el diagnóstico de las diferentes tecnologías de monitoreo y la especificación de los parámetros de diseño.

La fase de modelamiento incluye las pruebas de adquisición de datos en la capa de percepción, pruebas de envío de datos a la plataforma IoT en la capa de red y la evaluación de la aceptación por los clientes a una propuesta comercial.

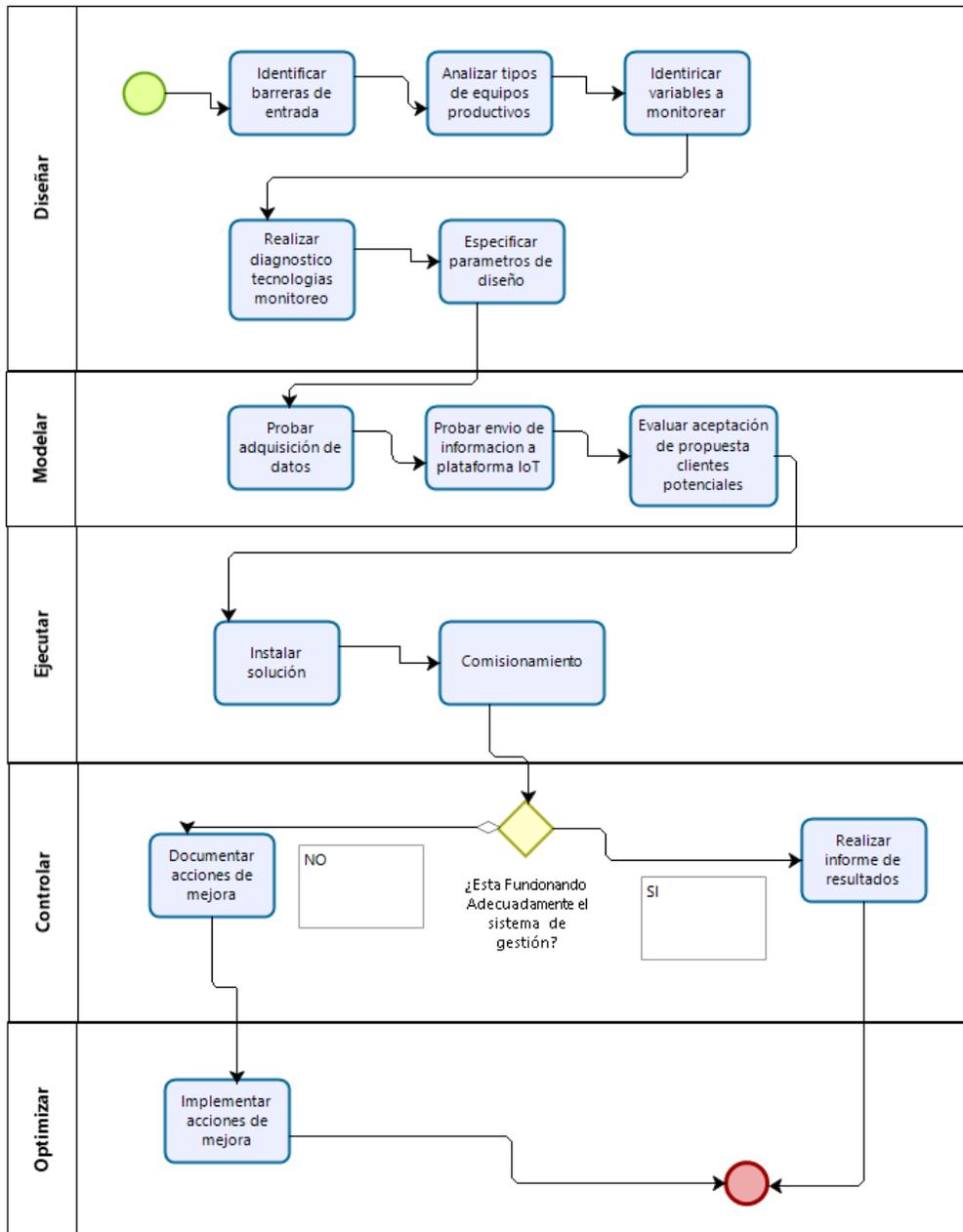
La fase de ejecución implica la instalación de una solución de monitoreo de activos y su respectivo comisionamiento.

La fase de controlar evalúa si el sistema está trabajando adecuadamente y si es necesario documentar acciones de mejora.

Finalmente en la capa de optimizar se implementan las acciones de mejora propuestas y se da cierre al proyecto.

Figura 44

Modelo BPM para Gestión de Monitoreo de Activos Productivos



Fuente: Elaboración propia utilizando el programa Bizagi Modeler.

Tareas Críticas

Una vez modelados los procesos se definen las tareas críticas con sus indicadores correspondientes, como se observa en la tabla 8.

Tabla 8

Identificación de tareas críticas del sistema de monitoreo de activos

Tarea	Responsable	Indicador
Cumplimiento de la promesa de valor	Director del proyecto	Evaluación de desempeño del proyecto con el área gerencial del cliente
Identificación de equipos críticos a ser monitoreados	Consultor de procesos de negocio	Numero equipos monitoreados / Número de equipos críticos
Adquisición de información	Consultor de procesos de negocio	Equipos con datos en plataforma IoT / Numero de equipos críticos
Alertas tempranas	Consultor de procesos de negocio	Equipos configurados con límites de funcionamiento / Numero de equipos críticos
Gestión del cambio	Gestor de proyectos	Número de solicitudes de ajuste gestionadas / Número de solicitudes recibidas

Fuente: Elaboración propia.

Evaluación de Aceptación a la Propuesta de Monitoreo

Este capítulo contiene la evaluación de la aceptación prevista y apoyo del personal técnico de las empresas a una propuesta comercial de monitoreo remoto y adquisición de datos para mantenimiento de equipos productivos mediante encuestas a los sectores industriales objetivo; se inicia con el instrumento de consulta, este instrumento es una encuesta diseñada para evaluar la aceptación de los atributos y características relevantes de un servicio de monitoreo de activos productivos, por los influenciadores y tomadores de decisión en las empresas de los sectores objetivo, luego se realiza una invitación a participar en esta investigación de mercado a profesionales de mantenimiento y producción laborando en empresas del ramo seleccionado, para el envío de la encuesta se utilizó un formulario web de Google; las opciones de respuesta se elaboraron teniendo en cuenta la escala de Likert, finalmente se realiza el análisis de la información obtenida.

De acuerdo con Pineda y Manrique (2019) para toda organización el desarrollo de nuevos productos o servicios supone grandes riesgos, sin embargo resultan esenciales para el posicionamiento competitivo de las empresas y su supervivencia a largo plazo. La industria de servicios tiene una gran participación en las estructuras productivas de los países, para aprovechar las oportunidades y dar respuesta a las amenazas las organizaciones deben tener en cuenta el cambio generacional, la digitalización de los servicios, los nuevos competidores, las tendencias y las nuevas tecnologías.

Pérez et al (2015) plantean que se debe tener en cuenta las características y atributos que influyen la decisión de compra de los servicios y las características del mercado y su posicionamiento; en el caso de estudio planteado por los autores se diseñó una encuesta en la cual se definió previamente los atributos que caracterizan a los productos ofertados del sector turismo, siendo analizados sus resultados de forma individual.

Question Pro (2022) en su página web menciona las siguientes recomendaciones previas al lanzamiento de nuevos productos: evaluar cómo se percibe el nuevo producto, medir el nivel de intención general de compra, identificar las fortalezas y debilidades del producto, apoyar la investigación a través de encuestas.

Escala de Likert

De acuerdo con Echauri et al (2012) la recopilación de datos es muy importante para el desarrollo de una investigación, la escala de Likert se ubica en la modalidad del método de interrogatorio, este método de recopilación es conocido especialmente en las ciencias sociales donde el objeto de estudio son los seres humanos, sin embargo la medición se puede llevar a objetos y se pueden tener en cuenta temas complejos como preferencias, actitudes y opiniones.

La escala de Likert está constituida por una serie de ítems ante los cuales se solicita la reacción del sujeto encuestado, el sujeto señala su grado de aprobación o desaprobación con cada proposición o afirmación relativa al asunto en consulta. Una vez identificada la variable a medir, se construye una pregunta o afirmación respecto al fenómeno que se desea conocer y se le permite al sujeto encuestado expresarse dentro de un amplio rango de posibilidades, desde extraordinariamente positivas hasta extraordinariamente negativas.

Para la elaboración del instrumento se incluyeron las siguientes recomendaciones dadas por Echauri et al (2012): utilizar expresiones sencillas, las preguntas deben incluir opiniones no hechos comprobables, incluir en las respuestas todas las opciones requeridas desde las muy desfavorables hasta las muy favorables.

Preguntas del Instrumento

Primera Pregunta: Consulta sobre la Pertinencia del Monitoreo

Esta pregunta indaga por la importancia que le da el encuestado a establecer un programa de monitoreo remoto de los equipos productivos, la siguiente es la pregunta planteada:

Pregunta 1: ¿Considera importante para la administración del mantenimiento y la correcta operación de los equipos productivos, monitorear las variables de funcionamiento de los activos en tiempo real, tener la posibilidad de tomar datos de los equipos de forma remota y mantener los registros históricos para análisis posteriores?

Las opciones disponibles para esta pregunta son:

- No es importante
- Poco importante
- Neutral
- Importante
- Muy importante

Segunda Pregunta: Consulta de Variables a Monitorear

Esta pregunta indaga por las clases de equipos que el encuestado considera importante incluir en un programa de monitoreo, la siguiente es la pregunta realizada:

Pregunta 2: De la siguiente tabla, favor seleccione que activos y variables operativas, considera importante monitorear para garantizar una correcta disponibilidad y confiabilidad de los equipos en su operación.

La relación de equipos posibles a seleccionar con opción múltiple son los siguientes:

- Motores eléctricos trifásicos (Voltaje, amperaje)
- Reductores de velocidad (Temperatura, ruido mecánico)
- Bombas que transportan agua (Presión, amperaje)
- Centro de control de motores (Alarmas sonoras y/o visuales)
- Tablero de distribución general (Alarmas sonoras y/o visuales)
- Tanques de almacenamiento (Nivel)
- Tuberías de transporte de líquidos (Caudal)
- Compresores de aire (Presión, amperaje, voltaje)
- Bandas transportadoras (Desalineación, voltaje, amperaje)

Tercera Pregunta: Consulta sobre Tipo de Almacenamiento Preferido

La tercer pregunta evalúa si el encuestado prefiere una solución de almacenamiento local o en la nube y si prefiere que la conexión entre los dispositivos de la instalación sea de forma inalámbrica o por medio de cableado.

Pregunta 3: ¿En caso de que se implementara un programa de monitoreo de equipos de forma remota que tipo de montaje considera más apropiado?

Las opciones disponibles para esta pregunta son:

- Conectar sensores a los equipos por medio de cableado y almacenar la información en la planta.
- Conectar sensores a los equipos por medio de cableado y almacenar la información en una nube.
- Conectar sensores a los equipos de forma inalámbrica y almacenar la información en la planta.

- Conectar sensores a los equipos de forma inalámbrica y almacenar la información en una nube.

Cuarta Pregunta: Consulta sobre Apoyo Previsto por la Gerencia a la Propuesta Presentada

Esta pregunta indaga por el apoyo que tendría por parte de la gerencia, la propuesta de implementación de un programa de mantenimiento predictivo y monitoreo de forma remota.

Pregunta 4: ¿Considera que la gerencia de su empresa podría apoyar la implementación de un programa de mantenimiento predictivo basado en la recolección de información del funcionamiento y operación de los equipos mantenibles, que esta información sea almacenada, y esté disponible para su análisis por el personal autorizado desde cualquier parte donde haya una conexión a internet?

Las opciones disponibles para esta pregunta son:

- No lo apoyaría
- Recibiría poco apoyo
- Neutral
- Lo apoyaría
- Recibiría fuerte apoyo

Población y Muestra

La población seleccionada a ser encuestada son profesionales de mantenimiento de compañías industriales con sede en Colombia; para elaborar una muestra de esta población se construyó una base de datos de 72 profesionales de mantenimiento que desempeñen cargos relacionados con mantenimiento en empresas de los sectores objetivo, luego se

elaboró un formulario con las preguntas previamente validadas utilizando la herramienta gratuita disponible en Google; el paso siguiente consistió en contactar por correo a los funcionarios seleccionados e invitarlos a participar en la evaluación del impacto de este proyecto contestando la encuesta enviada por medio electrónico. Se obtuvieron 13 respuestas lo que corresponde a un 18% de los profesionales invitados a participar.

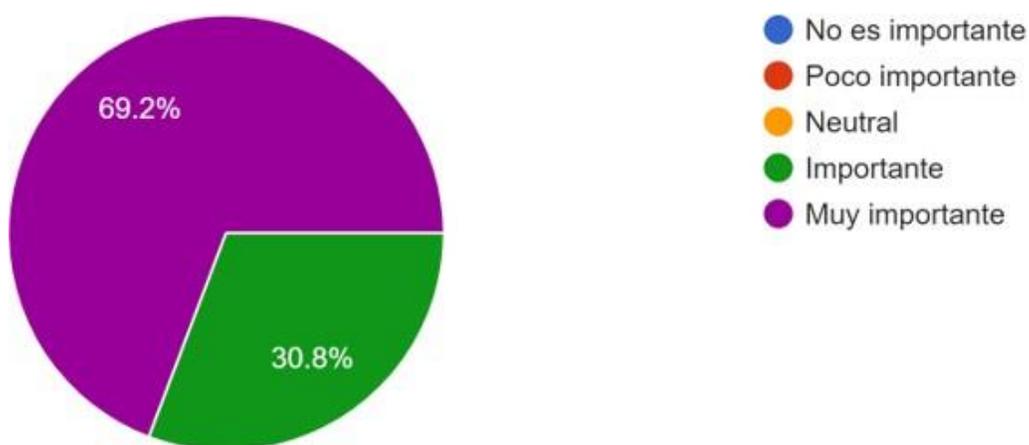
Resultados de la Encuesta Realizada

Pertinencia del Monitoreo

Como se observa en la figura 43, el 69.2% de los encuestados respondió que monitorear las variables de funcionamiento de los activos en tiempo real, y tener la posibilidad de tomar datos de los equipos de forma remota y mantener los registros históricos para análisis posteriores es una actividad catalogada como Muy Importante; el restante 30.8% de los encuestados clasifico esta actividad como Importante.

Figura 45.

Pertinencia del monitoreo.



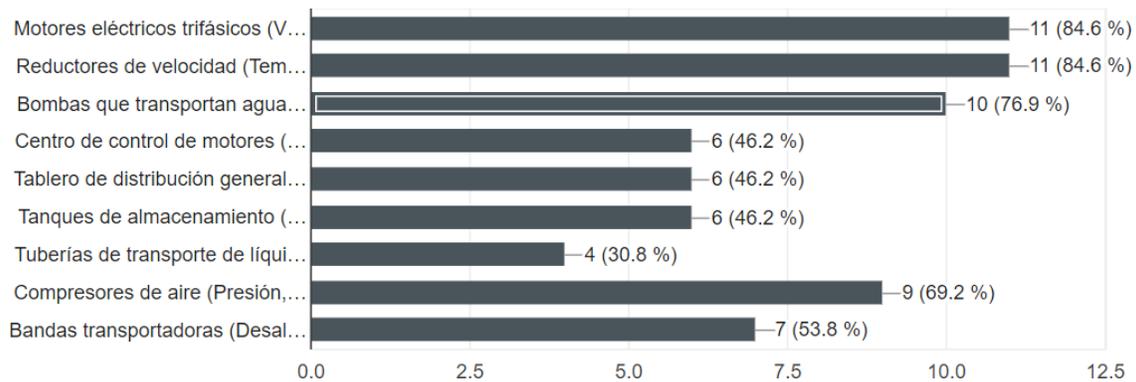
Nota. Resultado de encuesta de evaluación del impacto de la solución propuesta. Fuente: formulario Google utilizado.

Variables a Monitorear

A la solicitud de seleccionar que activos y variables operativas, considera importante monitorear para garantizar una correcta disponibilidad y confiabilidad de los equipos en su operación, los activos con mayor favorabilidad a ser monitoreados fueron los motores eléctricos y reductores de velocidad con un 84.6%, seguido por las bombas que transportan agua con un 76.9%, en tercer lugar se ubican los compresores de aire con un 69.2% , la variable con menor favorabilidad a ser monitoreada es el caudal de agua que circula por las tuberías con un 30.8%, estos datos se encuentran en la figura 44.

Figura 46.

Variables a monitorear.



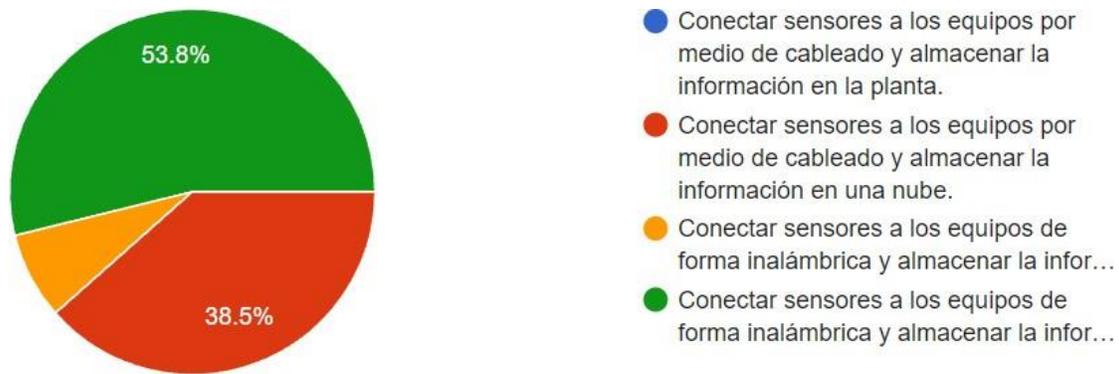
Nota. Resultado de encuesta de evaluación del impacto de la solución propuesta. Fuente: formulario Google utilizado.

Tipo de Almacenamiento Preferido

A la pregunta que indaga si el encuestado prefiere una solución de almacenamiento local o en la nube y si prefiere que la conexión entre los dispositivos de la instalación sea de forma inalámbrica o por medio de cableado, el 53.8% prefiere conectar los sensores de forma remota y almacenar la información en la nube, seguido por un 38.5% que prefiere una solución basada en conexionado de los sensores por cable y almacenamiento en la nube, los encuestados tienen una baja aceptación a almacenar la información localmente con un 7.7%, en la figura 45 se incluye la figura con los datos correspondientes al tipo de almacenamiento preferido.

Figura 47.

Tipo de Almacenamiento Preferido.



Nota. Resultado de encuesta de evaluación del impacto de la solución propuesta. Fuente: formulario Google utilizado.

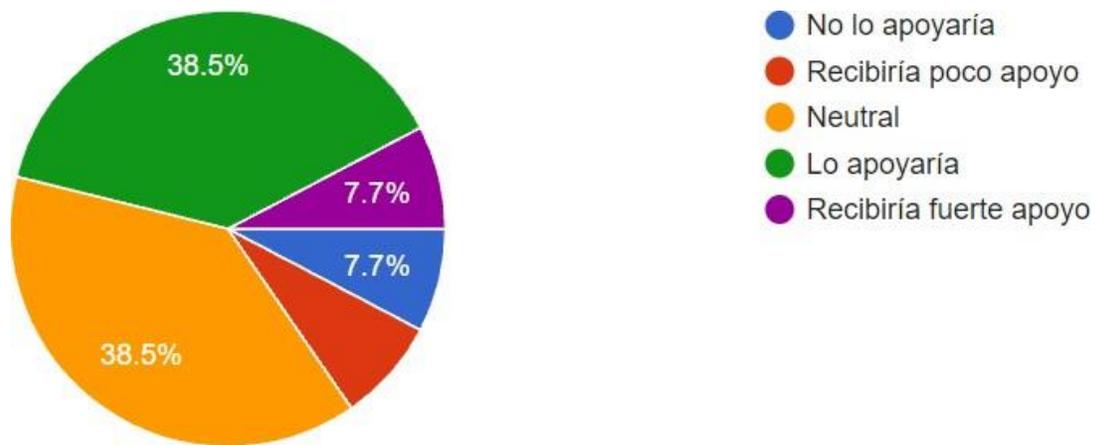
Apoyo Previsto por la Gerencia a la Propuesta Presentada

Al preguntar por el nivel de apoyo que la gerencia de la empresa podría otorgar a una propuesta de implementación de un programa de mantenimiento predictivo basado en la recolección de información del funcionamiento y operación de los equipos mantenibles,

el 38.5% respondió que la apoyaría, igual porcentaje obtuvo quienes consideraron que la gerencia tendrá un apoyo neutro a esta propuesta (38.5%), las demás opciones se encuentran empatadas con un 7.7% entre quienes consideran que la propuesta recibiría un fuerte apoyo, los que opinaron que recibiría poco apoyo y los que contestaron que la propuesta no sería apoyada. El apoyo previsto por la gerencia se grafica en la figura 46.

Figura 48.

Apoyo previsto por la gerencia a la propuesta presentada.



Nota. Resultado de encuesta de evaluación del impacto de la solución propuesta. Fuente: formulario Google utilizado.

Conclusiones

Este trabajo desarrolla el modelo de gestión propuesto, que sirva de base de conocimiento para la implementación de un futuro emprendimiento apoyado en la tecnología del IoT para optimizar el monitoreo de activos productivos en los sectores de industria, minería y construcción.

Al efectuar el análisis de los tipos de equipos productivos críticos en los sectores industriales objetivo para identificar cuales se deben incluir en el modelo de gestión de monitoreo de activos productivo, se observa que los principales tipos de equipos en las instalaciones industriales son motores eléctricos, reductores de velocidad, bombas que transportan fluidos, tableros eléctricos de distribución y de control de motores, tanques de almacenamiento, compresores de aire y bandas transportadoras, se presenta una tabla con las principales variables a monitorear por tipo de activos.

Al desarrollar el análisis diagnóstico sobre las tecnologías de monitoreo de equipos productivos, se reseñan los protocolos de comunicaciones asociados al internet de las cosas y se realiza un comparativo de estos protocolos, el modelo OSI descrito sirve como referencia para entender cómo se conectan los equipos y en que capas de este modelo actúan los diferentes protocolos de comunicaciones, se mencionan los aspectos relevantes al seleccionar sensores y se realiza una descripción de los diferentes tipos de sensores para aplicaciones industriales; se identificaron las principales empresas en Colombia que ofrecen monitoreo de activos mantenibles y los proveedores que ofertan los sensores y equipos de comunicación requeridos para implementar una solución de monitoreo de activos.

Para el desarrollo del modelo de adquisición de datos, se identifican los requerimientos de acuerdo a los tipos de activos productivos y variables de funcionamiento, se evalúan las diferentes tecnologías de monitoreo a través de un esquema de vigilancia

tecnológica, se establecen parámetros de selección de las tecnologías a utilizar que incluyen costo, fácil consecución de los componentes, uso de software libre, fácil instalación con un mínimo de modificaciones; se selecciona el uso de una red Zigbee sobre una plataforma Arduino, como Gateway para las pruebas del modelo y soluciones en que todos los sensores se comuniquen por radiofrecuencia se plantea el uso de un microcontrolador NODEMCU; cuando se requiera utilizar comunicación por radiofrecuencia y además por cable se sugiere el uso del equipo Siemens IOT2040.

Se selecciona la plataforma IoT Thingspeak para las pruebas del modelo, sin embargo para una futura aplicación comercial se recomienda la utilización de AWS de acuerdo al análisis presentado, se presenta la transmisión de datos recolectados por los sensores en la red ZigBee, el envío de datos a la plataforma IoT Thingspeak, la suscripción de un cliente MQTT a la plataforma IoT ThingSpeak y algunas herramientas de visualización y análisis disponibles en la plataforma IoT provistas por MATLAB.

Para evaluar la aceptación y apoyo del personal técnico de las empresas de los sectores objetivo a una propuesta comercial de monitoreo remoto y adquisición de datos destinados al mantenimiento de equipos, se diseña una encuesta teniendo en cuenta la escala de Likert, la encuesta es enviada por correo electrónico a profesionales de mantenimiento que desempeñen cargos relacionados con mantenimiento en empresas de los sectores objetivo, se utiliza la herramienta gratuita Formularios disponible en Google para documentar las respuestas, de 72 invitaciones a participar en la encuesta se obtienen 13 respuestas.

El análisis de las respuestas nos indica que monitorear las variables de funcionamiento de los equipos productivos tiene un fuerte apoyo con el 69.2% considerándolo muy importante y el resto 30.8% lo considera como importante. Las

variables de los equipos que tienen mayor aceptación para ser monitoreadas son las correspondientes a motores eléctricos y reductores de velocidad siendo seleccionadas por el 84.6% de los encuestados. El 53.8% considera que la mejor forma de conectar los sensores a los equipos es de forma inalámbrica y que se debe emplear almacenamiento en la nube, el 38.5% considera que deberían conectarse de forma alamburada y con almacenamiento en la nube, esto permite concluir que una solución de almacenamiento tipo cloud cuenta con el 93% de apoyo. El apoyo estimado por la gerencia respecto a una propuesta de monitoreo de activos se observa dividido: un 38.5% lo apoyaría y otro 38.5% recibiría un apoyo neutro.

Referencias

- Adryan, B., & Konigseder, T. (2017). *The Technical Foundations of IoT*. Artech House.
- ANDI. (2019). Colombia: Balance 2018 y perspectivas 2019.
http://www.andi.com.co/Uploads/ANDI%20-%20Balance%20y%20Perspectivas_636882495815285345.pdf
- Arevalo L. María. (2018). Las Tres Dimensiones Esenciales del BPM (Business Process Management). Recuperado de: <https://arevalomaria.wordpress.com/2018/02/19/las-tres-dimensiones-esenciales-de-bpm-business-process-management-bpm/>
- Ausberger, T., & Štětina, M. (2019). General methodology for building of OPC UA gateways. *IFAC PapersOnLine*, 52(27), 317–322.
<http://10.0.3.248/j.ifacol.2019.12.680>
- AWS. (2021). *AWS IoT Core Developer Guide*.
<https://docs.aws.amazon.com/iot/index.html>
- Banco de la Republica. (2020). ¿Cuáles son las proyecciones económicas del equipo técnico del Banco?. <https://www.banrep.gov.co/es/proyecta-el-banco>
- Banco de la Republica. (2020). Boletín de Indicadores Economicos.
<https://www.banrep.gov.co/es/bie>
- Bassirou Diène, Joel J.P.C. Rodrigues, Ousmane Diallo, EL Hadji Malick Ndoeye, Valery V. Korotaev. (2020). Data management techniques for Internet of Things. *Mechanical Systems and Signal Processing*. Volume 138. <https://www-sciencedirect-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/science/article/pii/S088832701930785X?via%3DiHub>
- Botica, A., Kovačević, T., Jenčić, S., & Zorica, S. (2018). *ZigBee Wireless Sensor Network*

- for Indoor Air Quality Monitoring. Conference Proceedings International Scientific & Professional Conference Contemporary Issues in Economy & Technology, CIET, 633–645.
- <https://bibliotecavirtual.unad.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edb&AN=142735911&lang=es&site=eds-live&scope=site>
- Briscoe, N. (2000). Understanding the OSI 7-layer model. *PC Network Advisor*, 120(2), 13-15.
- Cetina, M. A. (2016). Gestión de procesos con BPM. *TIA*, 4(2), pp.45-56.
- <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/tia/article/view/8387/pdf>
- Cierco Jiménez de Parga, D. (2011). Cloud computing : retos y oportunidades.
- <https://bibliotecavirtual.unad.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsdpn&AN=edsdpn.572562LIB&lang=es&site=eds-live&scope=site>
- DANE. (2018). Encuesta Anual Manufacturera.
- https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/eam/boletin_eam_2018.pdf.
- Digi. (2018). ZigBee RF Modules.
- <https://www.digi.com/resources/documentation/digidocs/pdfs/90000976.pdf>
- Echauri, A. M. F., Minami, H., & Sandoval, M. J. I. (2012). La Escala de Likert en la evaluación docente: acercamiento a sus características y principios metodológicos. *Perspectivas Docentes*, 50.
- G2. (2022). Compare AWS IoT Core and ThingSpeak. <https://www.g2.com/compare/aws-iot-core-vs-thingspeak>
- Gascón Bononad, J. B. (2019). Diseño de una placa electrónica modular para el microcontrolador NODEMCU V3.

- Goswami, S. A., Padhya, B. P., & Patel, K. D. (2019). Internet of Things: Applications, Challenges and Research Issues. In 2019 Third International conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud) (I-SMAC), I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud) (I-SMAC), 2019 Third International conference on (pp. 47–50). IEEE. <https://doi.org/10.1109/I-SMAC47947.2019.9032474>
- Guerrero, O. Gómez, L. (2010). Las principales fallas de motores eléctricos en Costa Rica. *Tecnología En Marcha*, 23(1), 63–77.
- Hidalgo Batista, Elio Rafael, Batista Rodríguez, Carlos, & Robles Proenza, Fernando. (2016). Evaluación del valor de las variables de diagnóstico en motores de combustión interna diesel. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 25(3), 72-80. <https://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.27113.08806>
- How to Electronics. (2020) DHT11 Humidity Temperature Monitor with NodeMCU on ThingSpeak.. <https://how2electronics.com/dht11-humidity-temperature-nodemcu-thingspeak/#:~:text=The%20DHT11%20is%20a%20basic,careful%20timing%20to%20grab%20data.>
- Jones, P. M., Lonne, Q., Talaia, P., Leighton, G. J. T., Botte, G. G., Mutnuri, S., & Williams, L. (2018). A Straightforward Route to Sensor Selection for IoT Systems. *Research Technology Management*, 61(5), 41–49. <http://10.0.4.56/08956308.2018.1495965>
- Kooijman, M. (2015). *Building Wireless Sensor Networks Using Arduino*. Packt Publishing. <https://bibliotecavirtual.unad.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=nlebk&AN=1083055&lang=es&site=eds-live&scope=site>
- Kumar, R. P., & Smys, S. (2018). A novel report on architecture, protocols and applications

- in Internet of Things (IoT). In 2018 2nd International Conference on Inventive Systems and Control (ICISC), Inventive Systems and Control (ICISC), 2018 2nd International Conference on (pp. 1156–1161). IEEE.
<https://doi.org/10.1109/ICISC.2018.8398986>
- Kumbhar, H. (2016). Wireless sensor network using Xbee on Arduino Platform: An experimental study. In 2016 International Conference on Computing Communication Control and automation (ICCUBEA), Computing Communication Control and automation (ICCUBEA), 2016 International Conference on (pp. 1–5). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICCUBEA.2016.7860081>
- LAC. (2020). What Is A Conveyor System?. <https://www.lacconveyors.co.uk/what-is-a-conveyor-system/>
- Liu, C., Meng, Q., Liao, T., Bao, X., & Xu, C. (2019). A Flexible Hardware Architecture for Slave Device of I2C Bus. In 2019 International Conference on Electronic Engineering and Informatics (EEI), Electronic Engineering and Informatics (EEI), 2019 International Conference on (pp. 309–313). IEEE.
<https://doi.org/10.1109/EEI48997.2019.00074>
- M. A. Brignoli *et al.*, "Combining exposure indicators and predictive analytics for threats detection in real industrial IoT sensor networks," *2020 IEEE International Workshop on Metrology for Industry 4.0 & IoT*, Roma, Italy, 2020, pp. 423-428, doi: 10.1109/MetroInd4.0IoT48571.2020.9138184.
- Marston, S., Li, Z., Bandyopadhyay, S., & Ghalsasi, A. (2011). Cloud Computing - The Business Perspective. In 2011 44th Hawaii International Conference on System Sciences, System Sciences (HICSS), 2011 44th Hawaii International Conference on (pp. 1–11). <https://doi.org/10.1109/HICSS.2011.102>

MathWorks. (2022). Datos de Internet of Things (IoT).

<https://la.mathworks.com/help/matlab/iot-data.html#:~:text=ThingSpeak%20es%20una%20plataforma%20de,o%20visualizaci%C3%B3n%20en%20MATLAB%C2%AE>

Muhammed, A. S., & Ucuz, D. (2020). Comparison of the IoT Platform Vendors, Microsoft Azure, Amazon Web Services, and Google Cloud, from Users' Perspectives. In 2020 8th International Symposium on Digital Forensics and Security (ISDFS), Digital Forensics and Security (ISDFS), 2020 8th International Symposium on (pp. 1–4). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ISDFS49300.2020.9116254>

Nettikadan, D., & Raj, S. (2018). Smart community monitoring system using thingspeak iot platform. *International Journal of Applied Engineering Research*, 13(17), 13402–13408.

NIST. (2011). The NIST Definition of Cloud Computing.

<https://csrc.nist.gov/publications/detail/sp/800-145/final>

Parámetros de configuración en módulos XBEE-PRO® S2B ZB para medición de variables ambientales, 19 Configuration Parameters in Module XBEE-PRO® ZB S2B for Measuring Environmental Variables 141 (2015).

<http://10.0.56.147/udistrital.jour.tecnura.2015.3.a011>

Pasha, S. (2016). ThingSpeak based sensing and monitoring system for IoT with Matlab Analysis. *International Journal of New Technology and Research (IJNTR)*, 2(6), 19–23.

Pérez Almaguer, Y., Medina Labrada, J., & Nápoles, L. F. (2015). Atributos que determinan la decisión de compra. Caso de estudio hoteles Guardalavaca. *Retos Turísticos*, 14(3), 17–26.

- Pineda, J., & Manrique, J. (2019). Metodologías de desarrollo de nuevos productos aplicables a servicios: una revisión de la literatura.
- Pintilie, L. N., Pop, T., Gros, I. C., & Mihai Iuoras, A. (2019). An I2C and Ethernet based open-source solution for home automation in the IoT context. In 2019 54th International Universities Power Engineering Conference (UPEC), International Universities Power Engineering Conference (UPEC), 2019 54th (pp. 1–4). IEEE. <https://doi.org/10.1109/UPEC.2019.8893583>
- Power & Motion. (2012). Engineering Essentials: Fundamentals of Hydraulic Pumps. <https://www.powermotiontech.com/hydraulics/hydraulic-pumps-motors/article/21884136/engineering-essentials-fundamentals-of-hydraulic-pumps>
- Priyadarshi, D., & Behura, A. (2018). Analysis of Different IoT Protocols for Heterogeneous Devices and Cloud Platform. In 2018 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP), Communication and Signal Processing (ICCSP), 2018 International Conference on (pp. 868–872). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICCSP.2018.8524531>
- Question Pro (2022). Encuesta para lanzar un producto nuevo. <https://www.questionpro.com/blog/es/encuesta-para-lanzar-un-nuevo-producto/#:~:text=Preguntas%20para%20una%20encuesta%20de%20productos&text=%C2%BFEl%20precio%20del%20producto%20va,que%20ofrezca%20las%20mismas%20caracter%C3%ADsticas%3F>
- Reijers, H. A. (2021). Business Process Management: The evolution of a discipline. Computers in Industry, 103404. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166361521000117>
- Roihan, A., Priyambodo, T. K., & Ashari, A. (2019). A Survey on Protocols for Internet of

- Things. 2019 5th International Conference on Science and Technology (ICST), 1, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICST47872.2019.9166240>
- Rountree, D., & Castrillo, I. (2014). *The Basics of Cloud Computing : Understanding the Fundamentals of Cloud Computing in Theory and Practice*. Syngress.
<https://bibliotecavirtual.unad.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=nlebk&AN=486640&lang=es&site=eds-live&scope=site>
- Sehrawat, D., & Gill, N. S. (2019). Smart Sensors: Analysis of Different Types of IoT Sensors. 2019 3rd International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI), Trends in Electronics and Informatics (ICOEI), 2019 3rd International Conference On, 523–528. [https://doi-org.bibliotecavirtual.unad.edu.co/10.1109/ICOEI.2019.8862778](https://doi.org/bibliotecavirtual.unad.edu.co/10.1109/ICOEI.2019.8862778)
- Sehrawat, D., & Gill, N. S. (2019). Smart Sensors: Analysis of Different Types of IoT Sensors. In 2019 3rd International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI), Trends in Electronics and Informatics (ICOEI), 2019 3rd International Conference on (pp. 523–528). IEEE.
<https://doi.org/10.1109/ICOEI.2019.8862778>
- Viewtech. (2022), Gear Box. <https://www.viewtech.com/glossary/gear-box/>
- White, G. (2010). *Introducción al análisis de vibraciones*. Woburn, MA, Estados Unidos: Ázima, 551, 1990–2010.

Anexos

Anexo A

Resumen analítico educativo RAE

Título del texto	Modelo de Gestión TI Apoyado en IOT para el Monitoreo de Activos Mantenibles a través de un Sistema de Información
Nombres y Apellidos del Autor	Libardo Adolfo Niño Moreno
Año de la publicación	2022
<p>Resumen del texto:</p> <p>Los activos productivos de las empresas industriales requieren ser monitoreados durante su funcionamiento, ya que las ubicaciones de los equipos y el personal que los gestiona y mantiene pueden estar en diferentes lugares, se observa una oportunidad para desarrollar un proyecto aplicado que resuelva cómo diseñar un modelo de gestión para implementar un futuro emprendimiento en el sector de tecnologías de la información, el cual apoyado en la tecnología del Internet de las Cosas permita optimizar el monitoreo de activos productivos a través de un sistema de información; la solución a este problema permitirá a las empresas gestionar equipos productivos de forma remota, ahorrar costos de desplazamiento de técnicos para inspeccionar equipos, detectar fallas en etapas tempranas y aumentar la confiabilidad de los activos productivos.</p> <p>Los objetivos de este proyecto aplicado incluyen realizar un análisis de los equipos productivos críticos y las tecnologías que permiten el monitoreo remoto, el diseño del modelo de adquisición de datos y la evaluación de este tipo de soluciones en el sector</p>	

productivo; la metodología se basó en un proceso de vigilancia tecnológica preliminar que permitió definir los elementos del modelo de adquisición de datos y la indagación mediante encuestas del apoyo esperado a este tipo de soluciones.

Como resultado se plantea el uso de una red ZigBee compuesta por de una serie de nodos en los cuales están ubicados los sensores, los datos son recopilados por una placa Arduino la cual transmite la información a un nodo coordinador que recibe la información por radio; como plataforma IoT se selecciona a AWS debido a la facilidad de conexión entre dispositivos a la nube, y las herramientas de seguridad ofrecidas.

El 69.2% del personal técnico de las empresas encuestadas califico como muy importante monitorear las variables de funcionamiento de los activos en tiempo real y de forma remota; el 38.5% respondió que la gerencia de la empresa podría apoyar una propuesta de implementación de un programa de mantenimiento predictivo basado en monitoreo a distancia, estos resultados preliminares permiten proyectar que un emprendimiento que ofrezca este tipo de servicios es viable.

Palabras Claves	activos, mantenimiento, monitoreo, remoto
------------------------	---

Problema que aborda el texto:

Como diseñar un modelo de Gestión que pueda ser utilizado como base de conocimiento para implementar un futuro emprendimiento en el sector de tecnologías de la información, el cual apoyado en la tecnología del IoT permita optimizar el monitoreo de activos productivos en los sectores de industria, minería y construcción a través de un sistema de información.

Objetivos del texto:

- Realizar un análisis de los tipos de equipos productivos críticos en los sectores industriales objetivo para identificar cuales se deben incluir en el modelo de gestión de monitoreo de activos productivos.
- Realizar un análisis diagnóstico sobre las tecnologías disponibles de monitoreo remoto de equipos productivos mediante un esquema de vigilancia tecnológica para evaluar su aplicación en el diseño del modelo de gestión.
- Diseñar el modelo de adquisición de datos a través de la tecnología del IoT , basado en los resultados del diagnóstico sobre las tecnologías de monitoreo disponibles y los tipos de activos productivos para el modelo de gestión de monitoreo de activos productivos.
- Evaluar la aceptación y apoyo del personal técnico de las empresas de los sectores objetivo a una propuesta comercial de monitoreo remoto y adquisición de datos destinados al mantenimiento de equipos, que permita evaluar el apoyo del modelo de gestión de monitoreo de activos productivos.

Hipótesis planteada por el autor:

Ante el nuevo escenario generado por la pandemia de COVID19 las empresas han recortado sus presupuestos de inversión y se han focalizado en buscar alternativas para mantener su producción cumpliendo los protocolos de prevención del COVID 19 y optimizando sus costos, la opción del trabajo remoto ha emergido como una alternativa que se proyecta permanezca aún después de superada la pandemia,

Los activos productivos de las empresas en los sectores de industria, minería y construcción requieren ser monitoreados cuando están en producción y contar con rutinas de mantenimiento preventivo y correctivo, en muchas ocasiones estas actividades se desarrollan de manera presencial, sin embargo tecnologías emergentes como el Internet de las Cosas están dando paso a un nuevo paradigma, donde las cosas (equipos) están de forma rutinaria conectadas y puedan enviar y recibir información desde cualquier parte del planeta donde haya posibilidad de tener una conexión a internet, en este contexto la gestión de activos y mantenimiento han evolucionado, se observa una oportunidad para

desarrollar un modelo de gestión que pueda ser utilizado como base de conocimiento para implementar un futuro emprendimiento en el sector de tecnologías de la información, el cual apoyado en la tecnología del IoT permita optimizar el monitoreo de activos productivos en los sectores de industria, transporte, minería y construcción a través de un sistema de información.

Los destinatarios de la solución de monitoreo son las áreas de producción y mantenimiento de las compañías de los sectores industria, minería y construcción, los competidores son en primer lugar compañías que realizan mantenimiento predictivo e inspección de equipos en sitio, y por otra parte compañías del sector tecnológico que oferten servicios de monitoreo remoto a equipos industriales; el sector del transporte no se incluye ya que hay en el mercado soluciones maduras, algunas veces proporcionadas directamente por los representantes de los equipos que vía el canal de comunicación del GPS instalado pueden extraer la información de los parámetros de funcionamiento de los equipos.

Tesis principal del autor:

La pertinencia del monitoreo de activos mantenibles utilizando la tecnología del IoT cuenta con el apoyo del 69,2% del personal técnico de las empresas encuestadas; los aspectos mas relevantes de este modelo son:

- Se selecciona el uso de una red ZigBee sobre una plataforma Arduino
- Como Gateway para las pruebas del modelo y soluciones en que todos los sensores se comuniquen por radiofrecuencia se plantea el uso de un microcontrolador NODEMCU; cuando se requiera utilizar comunicación por radiofrecuencia y además por cable se sugiere el uso del equipo Siemens IOT2040.
- Se selecciona la plataforma IoT Thingspeak para las pruebas del modelo, sin embargo para una futura aplicación comercial se recomienda la utilización de AWS de acuerdo al análisis presentado.

Argumentos expuestos por el autor:

se describe la idea de negocio que consiste en ofrecer servicios de monitoreo de activos productivos a empresas de los sectores de industria, minería y construcción, esta oportunidad de negocio está basada en que los activos productivos de las empresa son aquellos destinados para fabricar los bienes y prestar los servicios objeto de su negocio, luego las empresas requieren operar estos equipos de forma óptima y realizar los mantenimientos que se requieran de forma oportuna para reducir costos de mantenimiento por atención de averías y evitar caídas en la disponibilidad de los equipos se referencia la encuesta manufacturera del DANE (2018) la cual informa que los establecimientos encuestados dedicaron el 2.2% del total de sus costos a actividades de mantenimiento por 3.6 billones.

Se identifican las siguientes barreras de entrada: el monitoreo tradicional realizado en sitio a los equipos, las estrategias de mantenimiento basadas en correctivos, el valor de la inversión inicial de un proyecto de monitoreo de activos y la resistencia al cambio.

Como referencia se establecen parámetros de diseño del modelo de adquisición de datos para una instalación industrial genérica con equipos que trabajen a un nivel de tensión de 440 o 220V, que los motores eléctricos sean trifásicos en un rango menor a 50HP, que La instalación industrial requiera bombeo de líquidos a presiones menores a 100 psi, que cuente con bandas transportadoras para el transporte de materia prima y utilice compresores y sistemas neumáticos con presiones hasta 175 psi.

Conclusiones del texto:

Este trabajo desarrolla el modelo de gestión propuesto, que sirva de base de conocimiento para la implementación de un futuro emprendimiento apoyado en la tecnología del IoT para optimizar el monitoreo de activos productivos en los sectores de industria, minería y construcción.

Al efectuar el análisis de los tipos de equipos productivos críticos en los sectores industriales objetivo para identificar cuales se deben incluir en el modelo de gestión de monitoreo de activos productivo, se observa que los principales tipos de equipos en las instalaciones industriales son motores eléctricos, reductores de velocidad, bombas que transportan fluidos, tableros eléctricos de distribución y de control de motores, tanques de almacenamiento, compresores de aire y bandas transportadoras, se presenta una tabla con las principales variables a monitorear por tipo de activos.

Al desarrollar el análisis diagnóstico sobre las tecnologías de monitoreo de equipos productivos, se reseñan los protocolos de comunicaciones asociados al internet de las cosas y se realiza un comparativo de estos protocolos, el modelo OSI descrito sirve como referencia para entender cómo se conectan los equipos y en que capas de este modelo actúan los diferentes protocolos de comunicaciones, se mencionan los aspectos relevantes al seleccionar sensores y se realiza una descripción de los diferentes tipos de sensores para aplicaciones industriales; se identificaron las principales empresas en Colombia que ofrecen monitoreo de activos mantenibles y los proveedores que ofertan los sensores y equipos de comunicación requeridos para implementar una solución de monitoreo de activos.

Para el desarrollo del modelo de adquisición de datos se identifican los requerimientos de monitoreo de acuerdo a los tipos de activos productivos y variables de funcionamiento, se evalúan las diferentes tecnologías de monitoreo de activos productivos a través de un esquema de vigilancia tecnológica, se establecen parámetros de selección de las tecnologías a utilizar que incluyen costo, fácil consecución de los componentes, uso de software libre, fácil instalación con un mínimo de modificaciones; se selecciona el uso de una red ZigBee sobre una plataforma Arduino, como Gateway para las pruebas del modelo y soluciones en que todos los sensores se comuniquen por radiofrecuencia se plantea el uso de un microcontrolador NODEMCU; cuando se requiera utilizar comunicación por radiofrecuencia y además por cable se sugiere el uso del equipo Siemens IOT2040.

Se selecciona la plataforma IoT Thingspeak para las pruebas del modelo, sin embargo para una futura aplicación comercial se recomienda la utilización de AWS de acuerdo al análisis presentado, se presenta la transmisión de datos recolectados por los sensores en la red ZigBee, el envío de datos a la plataforma IoT Thingspeak, la suscripción de un cliente MQTT a la plataforma IoT ThingSpeak y algunas herramientas de visualización y análisis disponibles en la plataforma IoT provistas por MATLAB.

Para evaluar la aceptación y apoyo del personal técnico de las empresas de los sectores objetivo a una propuesta comercial de monitoreo remoto y adquisición de datos destinados al mantenimiento de equipos, se diseña una encuesta teniendo en cuenta la escala de Likert, la encuesta es enviada por correo electrónico a profesionales de mantenimiento que desempeñen cargos relacionados con mantenimiento en empresas de los sectores objetivo, se utiliza la herramienta gratuita Formularios disponible en Google para documentar las respuestas, de 72 invitaciones a participar en la encuesta se obtienen 13 respuestas.

El análisis de las respuestas nos indica que monitorear las variables de funcionamiento de los equipos productivos tiene un fuerte apoyo con el 69.2% considerándolo muy importante y el resto 30.8% lo considera como importante. Las variables de los equipos que tienen mayor aceptación para ser monitoreadas son las correspondientes a motores eléctricos y reductores de velocidad siendo seleccionadas por el 84.6% de los encuestados. El 53.8% considera que la mejor forma de conectar los sensores a los equipos es de forma inalámbrica y que se debe emplear almacenamiento en la nube, el 38.5% considera que deberían conectarse de forma alamburada y con almacenamiento en la nube, esto permite concluir que una solución de almacenamiento tipo cloud cuenta con el 93% de apoyo. El apoyo estimado por la gerencia respecto a una propuesta de monitoreo de activos se observa dividido: un 38.5% lo apoyaría y otro 38.5% recibiría un apoyo neutro.

Bibliografía citada por el autor:

Adryan, B., & Konigseder, T. (2017). *The Technical Foundations of IoT*. Artech House.

ANDI. (2019). Colombia: Balance 2018 y perspectivas 2019.

<http://www.andi.com.co/Uploads/ANDI%20->

[%20Balance%20y%20Perspectivas_636882495815285345.pdf](http://www.andi.com.co/Uploads/ANDI%20-Balance%20y%20Perspectivas_636882495815285345.pdf)

Arevalo L. María. (2018). *Las Tres Dimensiones Esenciales del BPM (Business Process Management)*. Recuperado de:

<https://arevalomaria.wordpress.com/2018/02/19/las-tres-dimensiones-esenciales-de-bpm-business-process-management-bpm/>

Ausberger, T., & Štětina, M. (2019). General methodology for building of OPC UA gateways. *IFAC PapersOnLine*, 52(27), 317–322.

<http://10.0.3.248/j.ifacol.2019.12.680>

AWS. (2021). AWS IoT Core Developer Guide.

<https://docs.aws.amazon.com/iot/index.html>

Banco de la Republica. (2020). ¿Cuáles son las proyecciones económicas del equipo técnico del Banco?. <https://www.banrep.gov.co/es/proyecta-el-banco>

Banco de la Republica. (2020). Boletín de Indicadores Economicos.

<https://www.banrep.gov.co/es/bie>

Bassirou Diène, Joel J.P.C. Rodrigues, Ousmane Diallo, EL Hadji Malick Ndoeye, Valery

V. Korotaev. (2020). Data management techniques for Internet of Things.

Mechanical Systems and Signal Processing. Volume 138. [https://www-](https://www-sciencedirect-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/science/article/pii/S088832701930785X?via%3Dihub)

[sciencedirect-](https://www-sciencedirect-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/science/article/pii/S088832701930785X?via%3Dihub)

[com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/science/article/pii/S088832701930785X?via%](https://www-sciencedirect-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/science/article/pii/S088832701930785X?via%3Dihub)

[3Dihub](https://www-sciencedirect-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/science/article/pii/S088832701930785X?via%3Dihub)

Botica, A., Kovačević, T., Jenčić, S., & Zorica, S. (2018). ZigBee Wireless Sensor

Network for Indoor Air Quality Monitoring. Conference Proceedings

International Scientific & Professional Conference Contemporary Issues in

Economy & Technology, CIET, 633–645.

[https://bibliotecavirtual.unad.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/login.](https://bibliotecavirtual.unad.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edb&AN=142735911&lang=es&site=eds-live&scope=site)

[aspx?direct=true&db=edb&AN=142735911&lang=es&site=eds-live&scope=site](https://bibliotecavirtual.unad.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edb&AN=142735911&lang=es&site=eds-live&scope=site)

Briscoe, N. (2000). Understanding the OSI 7-layer model. *PC Network Advisor*, 120(2),

13-15.

Cetina, M. A. (2016). Gestión de procesos con BPM. *TIA*, 4(2), pp.45-56.

<https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/tia/article/view/8387/pdf>

Cierco Jiménez de Parga, D. (2011). Cloud computing : retos y oportunidades.

<https://bibliotecavirtual.unad.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsdnp&AN=edsdnp.572562LIB&lang=es&site=eds-live&scope=site>

DANE. (2018). Encuesta Anual Manufacturera.

https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/eam/boletin_eam_2018.pdf.

Digi. (2018). ZigBee RF Modules.

<https://www.digi.com/resources/documentation/digidocs/pdfs/90000976.pdf>

Echauri, A. M. F., Minami, H., & Sandoval, M. J. I. (2012). La Escala de Likert en la evaluación docente: acercamiento a sus características y principios metodológicos. *Perspectivas Docentes*, 50.

G2. (2022). Compare AWS IoT Core and ThingSpeak.

<https://www.g2.com/compare/aws-iot-core-vs-thingspeak>

Gascón Bononad, J. B. (2019). Diseño de una placa electrónica modular para el microcontrolador NODEMCU V3.

Goswami, S. A., Padhya, B. P., & Patel, K. D. (2019). Internet of Things: Applications, Challenges and Research Issues. In 2019 Third International conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud) (I-SMAC), I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud) (I-SMAC), 2019 Third International conference on (pp. 47–50). IEEE. <https://doi.org/10.1109/I-SMAC47947.2019.9032474>

Guerrero, O. Gómez, L. (2010). Las principales fallas de motores eléctricos en Costa Rica. *Tecnología En Marcha*, 23(1), 63–77.

Hidalgo Batista, Elio Rafael, Batista Rodríguez, Carlos, & Robles Proenza, Fernando.

(2016). Evaluación del valor de las variables de diagnóstico en motores de combustión interna diesel. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 25(3), 72-80. <https://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.27113.08806>

How to Electronics. (2020) DHT11 Humidity Temperature Monitor with NodeMCU on ThingSpeak.. <https://how2electronics.com/dht11-humidity-temperature-nodemcu-thingspeak/#:~:text=The%20DHT11%20is%20a%20basic,careful%20timing%20to%20grab%20data.>

Jones, P. M., Lonne, Q., Talaia, P., Leighton, G. J. T., Botte, G. G., Mutnuri, S., & Williams, L. (2018). A Straightforward Route to Sensor Selection for IoT Systems. *Research Technology Management*, 61(5), 41–49. <http://10.0.4.56/08956308.2018.1495965>

Kooijman, M. (2015). *Building Wireless Sensor Networks Using Arduino*. Packt Publishing. <https://bibliotecavirtual.unad.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=nlebk&AN=1083055&lang=es&site=eds-live&scope=site>

Kumar, R. P., & Smys, S. (2018). A novel report on architecture, protocols and applications in Internet of Things (IoT). In 2018 2nd International Conference on Inventive Systems and Control (ICISC), Inventive Systems and Control (ICISC), 2018 2nd International Conference on (pp. 1156–1161). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICISC.2018.8398986>

Kumbhar, H. (2016). Wireless sensor network using Xbee on Arduino Platform: An experimental study. In 2016 International Conference on Computing

- Communication Control and automation (ICCUBEA), Computing
Communication Control and automation (ICCUBEA), 2016 International
Conference on (pp. 1–5). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICCUBEA.2016.7860081>
- LAC. (2020). What Is A Conveyor System?. <https://www.lacconveyors.co.uk/what-is-a-conveyor-system/>
- Liu, C., Meng, Q., Liao, T., Bao, X., & Xu, C. (2019). A Flexible Hardware Architecture for Slave Device of I2C Bus. In 2019 International Conference on Electronic Engineering and Informatics (EEI), Electronic Engineering and Informatics (EEI), 2019 International Conference on (pp. 309–313). IEEE. <https://doi.org/10.1109/EEI48997.2019.00074>
- M. A. Brignoli *et al.*, "Combining exposure indicators and predictive analytics for threats detection in real industrial IoT sensor networks," *2020 IEEE International Workshop on Metrology for Industry 4.0 & IoT*, Roma, Italy, 2020, pp. 423-428, doi: 10.1109/MetroInd4.0IoT48571.2020.9138184.
- Marston, S., Li, Z., Bandyopadhyay, S., & Ghalsasi, A. (2011). Cloud Computing - The Business Perspective. In 2011 44th Hawaii International Conference on System Sciences, System Sciences (HICSS), 2011 44th Hawaii International Conference on (pp. 1–11). <https://doi.org/10.1109/HICSS.2011.102>
- MathWorks. (2022). Datos de Internet of Things (IoT). <https://la.mathworks.com/help/matlab/iot-data.html#:~:text=ThingSpeak%20es%20una%20plataforma%20de,o%20visualizaci%C3%B3n%20en%20MATLAB%C2%AE>
- Muhammed, A. S., & Ucuz, D. (2020). Comparison of the IoT Platform Vendors,

- Microsoft Azure, Amazon Web Services, and Google Cloud, from Users' Perspectives. In 2020 8th International Symposium on Digital Forensics and Security (ISDFS), Digital Forensics and Security (ISDFS), 2020 8th International Symposium on (pp. 1–4). IEEE.
<https://doi.org/10.1109/ISDFS49300.2020.9116254>
- Nettikadan, D., & Raj, S. (2018). Smart community monitoring system using thingspeak iot platform. *International Journal of Applied Engineering Research*, 13(17), 13402–13408.
- NIST. (2011). The NIST Definition of Cloud Computing.
<https://csrc.nist.gov/publications/detail/sp/800-145/final>
- Parámetros de configuración en módulos XBEE-PRO® S2B ZB para medición de variables ambientales, 19 Configuration Parameters in Module XBEE-PRO® ZB S2B for Measuring Environmental Variables 141 (2015).
<http://10.0.56.147/udistrital.jour.tecnura.2015.3.a011>
- Pasha, S. (2016). ThingSpeak based sensing and monitoring system for IoT with Matlab Analysis. *International Journal of New Technology and Research (IJNTR)*, 2(6), 19–23.
- Pérez Almaguer, Y., Medina Labrada, J., & Nápoles, L. F. (2015). Atributos que determinan la decisión de compra. Caso de estudio hoteles Guardalavaca. *Retos Turísticos*, 14(3), 17–26.
- Pineda, J., & Manrique, J. (2019). Metodologías de desarrollo de nuevos productos aplicables a servicios: una revisión de la literatura.
- Pintilie, L. N., Pop, T., Gros, I. C., & Mihai Iuoras, A. (2019). An I2C and Ethernet

- based open-source solution for home automation in the IoT context. In 2019 54th International Universities Power Engineering Conference (UPEC), International Universities Power Engineering Conference (UPEC), 2019 54th (pp. 1–4). IEEE. <https://doi.org/10.1109/UPEC.2019.8893583>
- Power & Motion. (2012). Engineering Essentials: Fundamentals of Hydraulic Pumps. <https://www.powermotiontech.com/hydraulics/hydraulic-pumps-motors/article/21884136/engineering-essentials-fundamentals-of-hydraulic-pumps>
- Priyadarshi, D., & Behura, A. (2018). Analysis of Different IoT Protocols for Heterogeneous Devices and Cloud Platform. In 2018 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP), Communication and Signal Processing (ICCSP), 2018 International Conference on (pp. 868–872). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICCSP.2018.8524531>
- Question Pro (2022). Encuesta para lanzar un producto nuevo. <https://www.questionpro.com/blog/es/encuesta-para-lanzar-un-nuevo-producto/#:~:text=Preguntas%20para%20una%20encuesta%20de%20productos&text=%C2%BFEl%20precio%20del%20producto%20va,que%20ofrezca%20las%20mismas%20caracter%C3%ADsticas%3F>
- Reijers, H. A. (2021). Business Process Management: The evolution of a discipline. Computers in Industry, 103404. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166361521000117>
- Roihan, A., Priyambodo, T. K., & Ashari, A. (2019). A Survey on Protocols for Internet of Things. 2019 5th International Conference on Science and Technology (ICST),

1, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICST47872.2019.9166240>

Rountree, D., & Castrillo, I. (2014). *The Basics of Cloud Computing : Understanding the Fundamentals of Cloud Computing in Theory and Practice*. Syngress.

<https://bibliotecavirtual.unad.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=nlebk&AN=486640&lang=es&site=eds-live&scope=site>

Sehrawat, D., & Gill, N. S. (2019). Smart Sensors: Analysis of Different Types of IoT Sensors. 2019 3rd International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI), Trends in Electronics and Informatics (ICOEI), 2019 3rd International Conference On, 523–528. <https://doi-org.bibliotecavirtual.unad.edu.co/10.1109/ICOEI.2019.8862778>

Sehrawat, D., & Gill, N. S. (2019). Smart Sensors: Analysis of Different Types of IoT Sensors. In 2019 3rd International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI), Trends in Electronics and Informatics (ICOEI), 2019 3rd International Conference on (pp. 523–528). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICOEI.2019.8862778>

Viewtech. (2022), Gear Box. <https://www.viewtech.com/glossary/gear-box/>

White, G. (2010). *Introducción al análisis de vibraciones*. Woburn, MA, Estados Unidos: Ázima, 551, 1990–2010.

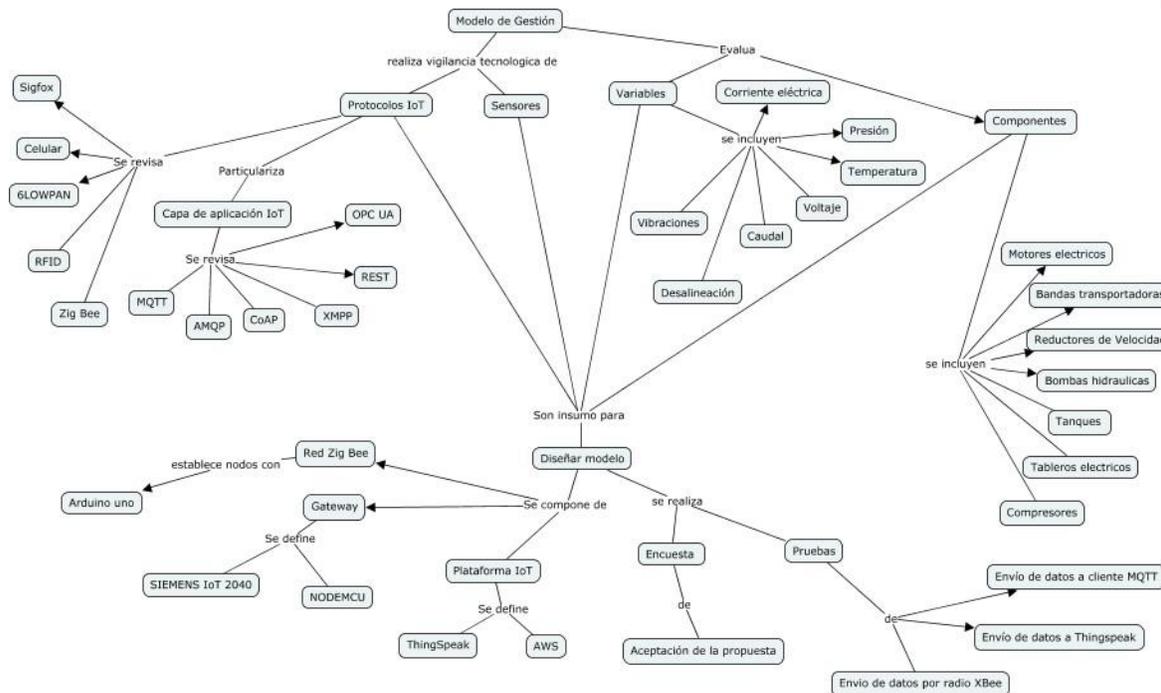
Nombre y apellidos de quien elaboró este RAE

Libardo Adolfo Niño Moreno

Fecha en que se elaboró este RAE

6 de junio de 2022

Imagen (mapa conceptual) que resume e interconecta los principales conceptos encontrados en el texto:



Comentarios finales

Este proyecto aplicado, incluye la revisión de los equipos productivos generalmente presentes en la industria de los sectores objetivo y sus variables de funcionamiento, las tecnologías disponibles para monitorearlos de forma remota y las principales plataformas IoT; propone un modelo para captar datos de variables críticas de los equipos productivos de forma remota y acceder a la información recopilada desde cualquier punto que cuente con una conexión a internet, se establecen las bases para un futuro emprendimiento en este campo.

