

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PUCP

Estudio para el diseño de un sistema de monitoreo de temperatura y geolocalización para triciclos conservadores de frío empleando la red LPWAN de Sigfox de Lima metropolitana

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE BACHILLER EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA

AUTOR

Adrián Emilio Guevara Zárate

ASESORES:

Luis Angelo Velarde Criado

Ángel Kamt Marconi

Lima, diciembre, 2020

RESUMEN

En la actualidad el incremento de nuevas tecnologías se encuentra en un punto de crecimiento exponencial, involucrándose cada día más en las actividades cotidianas de las personas y las corporaciones. A nivel empresarial, en sus instalaciones se han desarrollado tecnologías en las que no se tiene como restricción principal el contar con un suministro de energía eléctrica limitado; mientras que fuera de instalaciones, donde no se cuenta con un suministro de energía eléctrica constante, se requieren baterías que la almacenen y puedan abastecer a un sistema de monitoreo o control.

Una aplicación, de entre muchas, en donde el producto principal se encuentra fuera de instalaciones, es la venta de helados en triciclos conservadores de fríos. Estas unidades se encuentran en constante movimiento por zonas dentro de la ciudad durante su jornada de trabajo. Jornada en la que el producto no proporciona un feedback de valor de temperatura en el que se encuentra el helado, con ello su calidad postproducción puede verse afectada; asimismo, hay una ausencia de realimentación que permita conocer la ubicación del triciclo durante el día, de contar con esta métrica, sería posible optimizar una gestión de flotas acorde a indicadores de cantidad de ventas.

El presente trabajo de investigación plantea los fundamentos para poder desarrollar una solución basada en un sistema de internet de las cosas IoT, empleando la red LPWAN de Sigfox. Sistema que tiene inicio desde la lectura de sensores de bajo consumo de potencia para poder ser visualizados en un dashboard que permita monitorear estos parámetros, guardar un registro de estos y generar estadísticas para distintos fines como supervisión, gestión, optimización y prevención.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	i
INDICE GENERAL.....	ii
ÍNDICE DE FIGURAS	iii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I PROBLEMÁTICA Y ALCANCES	2
1.1. Problemática	2
1.2. Estado del arte.....	2
1.2.1. Sistemas de monitoreo.....	3
1.2.2. Sistemas de distribución de flotas	4
1.3. Justificación	5
1.3.1. Dominio tecnológico	5
1.3.2. Dominio comercial	7
1.4. Objetivos.....	8
1.4.1. Objetivo general	8
1.4.2. Objetivos específicos	8
CAPITULO II FUNDAMENTOS DEL DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN.....	10
2.1. Visión general	10
2.2. Base conceptual para el sistema IoT de la solución.....	10
2.2.1. Sensado.....	10
2.2.2. Comunicaciones	12
2.2.3. Gestión de datos	14
2.3. Modelo de solución.....	17
2.3.1. Diagrama de bloques propuesto	17
2.3.2. Arquitectura de comunicación.....	18
CONCLUSIONES	20
RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	21
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Comparativo rango/eficiencia energética redes wireless	6
Figura 2. Esquema de solución.....	10
Figura 3. Diagrama de solución general.....	17
Figura 4. Arquitectura de comunicación	18



INTRODUCCIÓN

El consumo de helado producido por la industria peruana y consumida en el mismo, presenta la cualidad de ser consumido por las vías donde se transita, bajo la modalidad de “al paso”, a diferencia de otros países que son comprados para su consumo en domicilio. Además, durante un año, cada peruano puede llegar a consumir 1.7 litros de helado, de las cuales se puede aproximar el consumo entre quince paletas, copas, conos o sanguchitos [1]. Considerando la data de 33 millones de habitantes proporcionada por INEI al 2019, la cantidad promedio de helado consumido en el país asciende a 57 millones de litros.

Se puede afirmar entonces que el consumo no depende de donde viva la persona, sino de donde transite y también que existe un interés importante por el consumo de este producto en el Perú. Información relevante para decidir que si se trata su venta y distribución de forma estratégica puede representar grandes ganancias.

El producto final, sin lugar a duda, debe contar con las condiciones de calidad necesarias, contenidas en el margen establecido por la Dirección General de salud (DIGESA) (Art. 25, (a) de la Ley del Ministerio de Salud, Ley 27657), entidad que regula el estado del producto. Sin embargo, existen otros factores cuantitativos y cualitativos para considerar para su calidad, eficacia y eficiencia al momento de la venta y distribución, como saber a qué temperatura y dureza se entregan los helados y si estos presentan el valor suficiente para entregar el producto, así como también la cantidad de helados vendidos y en el tiempo que se vendieron.

CAPÍTULO I

PROBLEMÁTICA Y ALCANCES

1.1. Problemática

En primer lugar, al no contar con monitoreo y supervisión de los factores cuantitativos y cualitativos mencionados en el apartado introductorio, es que surge la iniciativa de una lectura remota de ellos, para obtener datos que posteriormente sean transformados en información analizable y presta para toma de decisiones.

En segundo lugar, el desconocer la ubicación temporal de los triciclos no permite tener una distribución de flotas adecuada de acuerdo a la cantidad de ventas registradas por los mismos debido a su cantidad de ventas. Al conocer su geolocalización sería viable mejorar la distribución de estos, con el propósito de optimización de gestión de activos, evitando redundancia o saturación de unidades de venta en un sector, así como también redirigir unidades para cubrir zonas con menores índices de venta.

En el presente trabajo de investigación se adoptará un sistema de Internet of Things (IoT) para la abordar la problemática, que contará con sensores incorporados dentro del triciclo que tendrían el objetivo de ser los “sentidos” de este y a través de una secuencia de subsistemas de por medio, sea posible finalmente visualizarlos en un dashboard interactivo.

1.2. Estado del arte

En la industria heladera peruana a la fecha del desarrollo del presente trabajo de investigación no se encontró la adopción de sistemas automáticos o manuales de medición de variables físicas en triciclos heladeros. Como punto de inicio, para el estudio se incluirá el estado del arte de otros sistemas de monitoreo y sistemas de distribución de flotas semejantes al tema de estudio de investigación.

En primer lugar, se revisó sistemas de monitoreo y recolección de datos, wireless y de bajo consumo de potencia. Estudios de los cuales, se destaca un

sistema de supervisión en la industria vitivinícola y un sistema de supervisión de calidad de aire.

En segundo lugar, se revisó sistemas de control distribución de flotas que incluyan en su solución un sistema de monitoreo. Entre ellos se encuentra relevante uno que emplea una plataforma integrada a sensores.

1.2.1. Sistemas de monitoreo

a) Supervisión en industria vitivinícola

Por un lado, en [2] se realizó la aplicación de monitoreo climático para hectáreas de tierras de cultivo de uvas, en las que se mide en intervalos de 1 hora, variables como la temperatura, humedad y luminosidad. En tal investigación fundamentan que la eficiencia del rubro de producción y cultivo vitivinícola viene mejorando a partir del uso de nuevas tecnologías. Como por ejemplo, recolectando parámetros micrometeorológicos en las parcelas permite la detección de la potencial variabilidad de madurez de las uvas y también facilita la evaluación de daños debido a su exposición a temperaturas bajas o muy bajas. Como evidencia de su funcionamiento incluyen en sus gráficas de tendencias el comportamiento de 2 sensores de temperatura montados en campo y la medida de una estación meteorológica más cercana, la diferencia entre la medida de sensor 1 y 2 es debida a la ubicación de los nodos de medición en la parcela, mientras que el de la estación meteorológica se presenta un valor relativamente diferente, este es por su ubicación distante a los 2 sensores, pero se observa que se mantiene la tendencia tanto creciente como decreciente y un error de 5%.

b) Supervisión de calidad de aire dentro de campus universitario

Como muestra de versatilidad, se llevó a cabo una aplicación monitoreo de la calidad del aire en el campus de James Cook University – Australia [3], ubicando 5 nodos de medición a

un radio de 3 km de su campus. Si bien es cierto, existen sistemas de monitoreo de la calidad de aire, estos no pueden proveer resoluciones espacial y temporal. Por ello, proponen la ubicación de sensores portables que recolectan la calidad de aire periódicamente, para ser transmitida por una red LPWAN y posteriormente ser almacenada en la base de datos y analizada en la nube de IoT. En sus gráficas de tendencias se muestran los valores de concentración de 4 partículas diferentes en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ vs tiempo, con medidas periódicas dentro del intervalo de 1h. Como medida de seguridad, realizaron una basta cantidad de experimentos y mediciones en ambientes urbanos para verificar la confiabilidad del sistema de medición. Se obtiene satisfactoriamente que a largo plazo y a gran escala el monitoreo del aire puede ayudar a entender el comportamiento estacionario y dinámico de la contaminación del aire, de este modo encontrar vías para solucionar el problema total o parcialmente.

1.2.2. Sistemas de distribución de flotas

La gestión de flotas para venta de productos se ha convertido en una herramienta indispensable para que las empresas sean eficientes, produzcan rentabilidad y estén a la altura de la competitividad en el mercado actual. Hoy se basan en el empleo de las nuevas tecnologías de la información para facilitar su administración y alternativas tomadas por los Business Decision Makers (BDMs) de las entidades corporativas.

En [4] se implementó un sistema de administración de flotas telemático basado en la web, el desarrollo del sistema está basado en la plataforma MOWIS [5] que es un programa de software libre para la supervisión y gestión integrada autoconfigurable por programación orientada a objetos, herramienta idónea para el monitoreo remoto de sistemas complejos en tiempo real. Presenta la gestión del estado de una planta y de cada unidad conectada. El sistema está conformado por una red de comunicación Modbus para objetos en campo y Ethernet como

conexión para el servicio remoto. Presenta también un servidor que almacena la data relevante de las unidades como ruteo, información de tráfico, servicio de movimiento de objetos, tan bueno como un AVL (Automatic Vehicle Location). La información proporcionada en la web permite el acceso a funcionalidades como trackeo, control de flotas y administración web disponible para usuarios.

1.3. Justificación

Para la justificación se presenta el análisis tanto en el dominio tecnológico como en el dominio comercial, demostrando que el empleo de la red LPWAN de Sigfox se adapta como elemento importante para la solución a la problemática.

1.3.1. Dominio tecnológico

Los dispositivos conectados a las aplicaciones de IoT se vienen incrementando con el paso del tiempo, de la mano de redes M2M (Machine to Machine) más eficientes para cada propósito. Resulta imperante la adopción de las nuevas tecnologías para soluciones de conectividad de objetos remotos si se desea optimizar procesos de las características exigentes expuestas en la problemática.

Por un lado, redes wireless con un corto alcance del orden de metros o cientos de metros de transmisión y/o recepción no son dables para abordar la problemática, esto debido a que se necesita realizar el monitoreo en un orden de kilómetros por encontrarse dentro de la ciudad de Lima metropolitana, terreno sobre el cual se debe contar con cobertura plena.

Por otro lado, tecnologías móviles como GPRS, 3G, 4G y 5G, si bien es cierto, proveen mayores rangos de transmisión y recepción, su consumo de energía es elevado, lo que se opone al factor crítico para los dispositivos IoT, además de representar un costo elevado para su implementación y pagos de abonos por planes mensuales respecto a Sigfox que pertenece a una red LPWAN (Low Power Area Network) que ofrece costos menores por suscripción anual de hasta \$2-\$5 por dispositivo. [6]

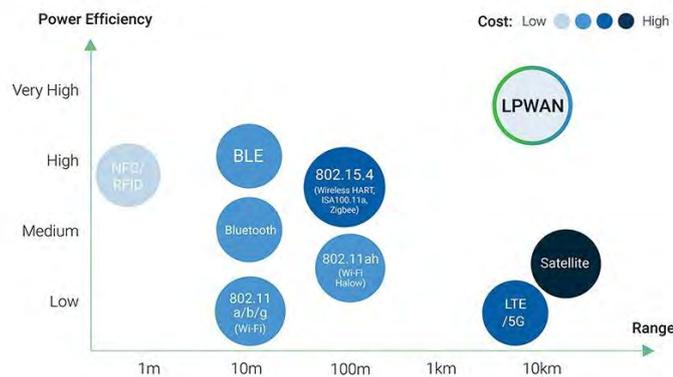


Figura 1. Comparativo rango/eficiencia energética redes wireless

Se puede observar en la Figura 1 que las redes LPWAN llevan un razonable equilibrio y notable ventaja respecto a las demás tecnologías en cuanto a rango de alcance y eficiencia energética. En cuanto alcance dispone de 3-10 Km en zonas urbanas y de hasta 30 Km en zonas rurales. El “precio” de contar con las anteriores ventajas, es el poseer una tasa de datos de 600bps, es decir un bit rate muy bajo; sin embargo, esto no resulta ser inconveniente para la solución a la problemática, ya que para esta aplicación se requiere monitorear pequeñas cantidades de datos enviados.

El haber llegado al cuadrante de las redes LPWAN delimita la elección entre tres redes: Sigfox, LoRa y Narrow Band IoT (NB-IoT); por un lado, el tratar de elegir a sigfox por sobre otras tecnologías, puntualmente LoRa, se convierte en un interesante cuestionamiento ya que ambas presentan características muy semejantes, ambos presentan reducido consumo de energía, un payload bajo, alcance en kilómetros similares, entre otros puntos; por otro lado, ambas presentan un enfoque para un modelo de mercado diferente. Acorde a la investigación realizada en [7] que lleva a cabo una comparación de tecnologías realizando una simulación considerando cantidad de dispositivos y medición de colisión de información. Obteniendo como resultado que Sigfox tiene menos colisiones y tasa de errores con ligeramente una mejor representación de mensajes en el espectro de frecuencia. Además de una robusta, escalable

y segura infraestructura con inmunidad al jamming, emplea VPN, encriptación SSL.

Principalmente una diferencia definitiva entre el empleo de LoRa y Sigfox es que, si se desea emplear una red LoRa se debe incluir en las actividades, el mantenimiento de antenas, gateways, fuentes de energía y unidades de respaldo energético para estos, en general servicios realizados por un operador. En contraparte, Sigfox entrega una opción para un modelo de mercado diferente, en el que las actividades son realizadas por un operador tercerizado, en Perú el operador es WND Group Perú, servicio incluido con el pago por la suscripción.

Finalmente, elegir Sigfox no se restringe a ser materia de evaluación definitiva, debido a que la presente investigación va orientada a justamente emplear su tecnología debido a la existencia de un convenio con WND Group Perú, firmado el 11 de julio del 2019, en el cual se incluye que la PUCP cuente con una red con tecnología Sigfox dentro del campus, así como kits de desarrollo para la implementación de proyectos [8], que serán realizados por el grupo de investigación IoTPUCP, del cual el autor del presente trabajo de investigación es miembro. Por lo que se decanta el empleo de esta tecnología debido a su disponibilidad y facilidades para el desarrollo.

1.3.2. Dominio comercial

El obtener información de las variables mencionadas en el apartado 1.1 representan un valor importante para la toma de decisiones a nivel corporativo y de este modo manejar estrategias de marketing como contabilizar eficiencia de venta de helados, análisis para mantenimiento preventivo y hasta predictivo de los triciclos heladeros con el fin de garantizar un producto final conforme.

En la revista IoT Signals – Summary of Research Learning 2019 de Microsoft [9], se hace mención que IoT viene transformando la forma

en que la gente vive y trabaja, más allá de solo dispositivos inteligentes que uno usa día a día. IoT también está revolucionando la forma de hacer negocios, permitiendo rapidez, estrategia, seguridad y mayor eficiencia.

Además, en la revista también se registra un survey de 20 minutos online a 3000 Business Decision Makers (BDMs), IT Decision Makers (ITMs) y desarrolladores de industrias de manufactura, ventas, gobierno, salud y otros. Oriundos de países como Estados Unidos, Reino Unido, Alemania, Francia, China y Japón que actualmente laboran con IoT. Del cual se obtiene que para la adopción de un sistema IoT se realizaría para optimización de operaciones (56%), incremento de productividad (47%), seguridad (44%), administración de cadena de suministros (40%), asegurar la calidad (40%), monitoreo activo (33%), habilitación de ventas (31%) y mantenimiento basado en condición (25%).

Se observa que, para los temas de interés de la presente investigación, la principal razón es la de optimización de operaciones con un 56% del total. Una cifra que representa la tendencia corporativa en entidades alrededor del mundo, cifras que han de ser reflejadas por evaluaciones de indicadores, favorecidos por el empleo de la información recolectada y empleada toma de decisiones tras

1.4. Objetivos

En el presente apartado se encuentra un listado de objetivos entre el general y específicos requeridos para poder llegar al propósito de solución a la problemática.

1.4.1. Objetivo general

- Estudiar los fundamentos para el diseño del sistema de monitoreo de temperatura y geolocalización.

1.4.2. Objetivos específicos

- Estudiar las bases conceptuales para el subsistema de sensado para fundamentar el diseño.
- Estudiar las bases conceptuales para el subsistema de comunicaciones y redes para fundamentar el diseño.
- Estudiar las bases conceptuales para el subsistema de gestión de datos en el servidor y la base de datos para fundamentar el diseño.
- Realizar una propuesta de diagrama de solución al sistema IoT
- Estructurar una propuesta de arquitectura de comunicación acorde a las capas del modelo OSI.



CAPITULO II

FUNDAMENTOS DEL DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN

En el presente capítulo, se desarrollará el marco teórico de la presente investigación, se incluirá los conceptos principales que serán los cimientos para llevar a cabo el desarrollo del diseño propuesto para obtener como resultado la solución requerida.

Se presentará la visión general del modelo propuesto, seguido del marco teórico de los elementos que conforman los fundamentos de la solución.

2.1. Visión general

Tras inspeccionar los alcances y problemática, en base a los objetivos definidos se va a plantear un esquema que da respuesta y cumple los mismos. Se definirá en seguida conceptos teóricos de carácter importante que se encuentran ligados al esquema planteado. Finalmente se propone un esquema de solución a la problemática.

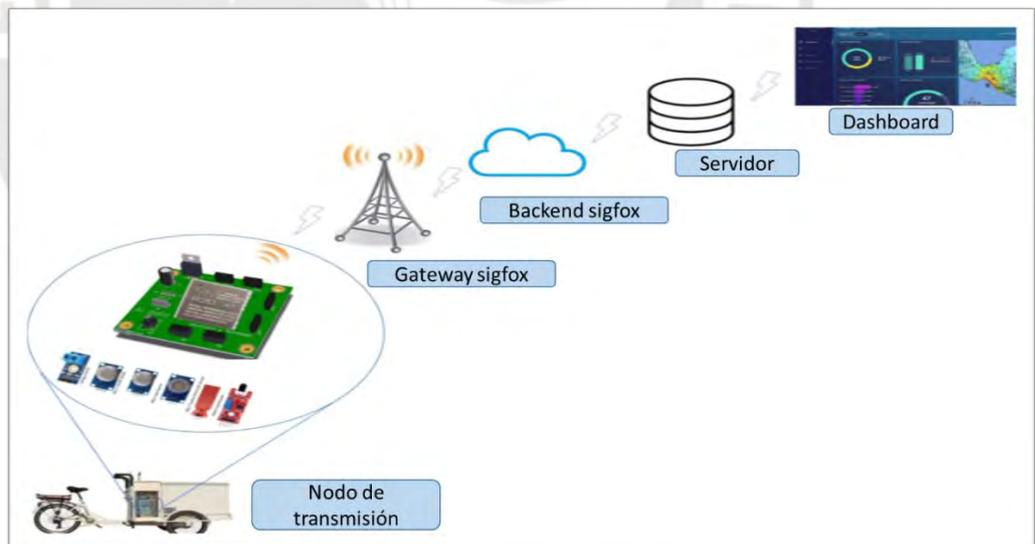


Figura 2. Esquema de solución

2.2. Base conceptual para el sistema IoT de la solución

2.2.1. Sensado

Como ya fue mencionado en el texto introductorio para la solución a la problemática se planea contar con el monitoreo y sensado de las

siguientes variables físicas del medio y se realizará una breve descripción teórica del tipo en específico a emplear.

a) Temperatura

Los termistores tipo NTC (Negative Temperature Coefficient), que son utilizados para detectar temperatura a través de cambios de resistencia, este tipo se caracteriza por poseer una curva inversamente proporcional a la temperatura, cuenta con valores de los cientos de kilo ohmios para temperaturas inferiores a 0°C. Su funcionamiento interno se basa en a la variación de la resistencia de la resistencia de un semiconductor debido a cambios en la temperatura de su medio, alterando la concentración de portadores de electrones.

Entre los tipos de encapsulados existentes en los termistores, se destaca para la presente aplicación el termistor tipo arandela por tener un orificio central y carece de terminales, aunque está provisto de dos caras metalizadas para establecer el contacto. Es frecuentemente utilizado como parte de un montaje, adecuado para empotrar en algún chasis. [10]

b) Geolocalización

Para la medición de la variable geolocalización se empleará un módulo externo conectable al circuito que contendrá la solución a la problemática. La tecnología que se empleará es la GPS (Global Positioning System) que permite obtener la ubicación de un objetivo en un espacio físico en un tiempo determinado. Determinar ubicación sistemática del objetivo se denomina tracking.

La principal ventaja que poseen es su alcance ilimitado debido a que a la fecha se cuenta con 24 satélites en operación que se encuentran en órbita alrededor de la tierra. Esta tecnología opera

a la frecuencia de 1.757 MHz y para obtener la ubicación que aplica el método llamado triangulación que consisten en emitir una señal en su frecuencia base en 3 satélites al mismo tiempo, y acorde al tiempo que tarde el retorno de la onda se calcula la posición del objetivo. [11]

2.2.2. Comunicaciones

a) Internet of Things (IoT)

Se define como una estructura que permite a las tecnologías de la información tener acceso a data proporcionada por objetos que debido a su naturaleza intrínseca no poseen electrónica capaz de brindar información por si mismos. Esto es posible mediante una conexión física o digital entre dispositivos electrónicos que pueden operar entre ellos y transportar la data hasta un punto que pueda ser interpretada y procesada para un fin deseado.

El IoT representa, en la actualidad, una transición tecnológica en la que los dispositivos electrónicos y tecnologías de la información puedan conectarse con los objetos, y de este modo monitorear e incluso controlar el mundo físico. Logrando que los objetos sean cada vez más inteligentes y así formar una red de la cual se pueda tener información del entorno a través de una tecnología que posea las características para su dominio [12].

b) Low Power Wide Area Network (LPWAN)

De acuerdo a sus siglas significa redes de área amplia de baja potencia, representa a un grupo de tecnologías inalámbricas que se utilizan en aplicaciones IoT. Son ideales para el tipo de comunicaciones M2M por sus características inherentes de bajo consumo, largo alcance y además por ser económicamente accesible en comparación de otras tecnologías como Zigbee, Bluetooth y Bluetooth de baja potencia (BLE). Entre las características principales de las tecnologías LPWAN se tiene: [13]

- **Comunicación de largo alcance:** Facilidad para admitir nodos que están a una distancia mayor o igual a 10 km de la puerta de enlace (gateway).

- **Baja velocidad de transmisión de datos:** Se envían menos de 5,000 bits de datos por segundo. Generalmente se envían entre 20 y 256 bytes por mensaje varias veces al día.

- **Bajo consumo de energía:** Esto proporciona una batería de larga duración para los dispositivos. Muchas veces, la duración de la batería puede durar hasta 10 años.

En términos de transferencia las redes LPWAN envían y reciben pequeños paquetes de información a intervalos poco frecuentes. El sensor y los dispositivos pueden enviar datos sobre millas de alcance en lugar de pies y pueden durar años con una batería AA en lugar de semanas o meses. A pesar de la baja confiabilidad y la alta latencia asociadas con LPWAN, sí desempeñan un papel esencial en IoT. Latencias que pueden llegar hasta los 5-10 segundos desde el envío del dato hasta la llegada al Gateway.

c) Sigfox

Sigfox es un operador de red LPWAN francés al igual que cualquier compañía de telefonía móvil. Es una de las redes con mayor despliegue en todo el mundo y opera sobre la banda de frecuencia pública de 868 MHz en Europa y 902 MHz en América. Específicamente en el Perú se opera en la banda Industry, Scientific and Medical (ISM) 920 MHz para Uplink (UL) y 922 MHz para Downlink (DL). Emplea tecnología de modulación de radio Banda Ultra Estrecha o UNB (siglas en inglés de Ultra Narrow Band) lo que implica que sólo se permite un operador sobre esta banda en cada país. Ofrece una alternativa para desarrollar proyectos del IoT a muy bajo coste y totalmente escalables. [14]

Entre sus principales características de servicio se encuentra que se pueden enviar 140 mensajes al día con un tamaño máximo de 12 bytes cada mensaje. Si se dividen los 140 mensajes entre 24 horas del día (caso se desee un monitoreo de 24 horas), se ve que se puede enviar 1 mensaje de 12 bytes cada 12 minutos lo que hace un total de 1.680 bytes por día. La comunicación puede ser bidireccional. SigFox ofrece 4 mensajes de bajada de 8 bytes cada uno.

El rango de cobertura se encuentra entre 3 y 10 km en zonas urbanas debido a los obstáculos e interferencias con otras redes y de hasta 30 - 50 km en zonas rurales. Y de hasta 1.000 Km si se tiene una visión directa entre el receptor y el transmisor.

Consigue una velocidad de transmisión de hasta 600 bps y el proveedor Sigfox garantiza una duración de hasta 15 años transmitiendo data. Es importante resaltar que no representa ser un reemplazo a las redes existentes como WiFi, 2G, 3G, 4G, Bluetooth, etc. más bien es una tecnología complementaria que está enfocada en el ahorro de batería. [14]

Sigfox en el Perú el Grupo Operador de Sigfox es “WNDGROUP PERU”, está presente también en la mayoría de países Sudamericanos como México, Brasil, Ecuador, Colombia, etc. A nivel de Lima metropolitana se encuentra totalmente cubierta de estaciones base de Sigfox para la conectividad de dispositivos a estos.

2.2.3. Gestión de datos

Para la gestión y manipulación de datos se presentará el uso de protocolos de comunicación IoT.

a) Hyper Text Transport Protocol (HTTP)

HTTP es predominantemente un protocolo de mensajería web, que fue desarrollado originalmente por Tim Berners-Lee. Más tarde, fue desarrollado por IETF y W3C conjuntamente y se

publicó por primera vez como un protocolo estándar en 1997. HTTP admite la arquitectura web RESTful de solicitud/respuesta. De forma análoga a CoAP, HTTP emplea el Identificador de Recursos Uniforme (URI) en lugar de temas. El servidor envía datos a través del URI y el cliente recibe datos a través de un URI particular. HTTP es un protocolo basado en texto y no define el tamaño de las cargas útiles de encabezado y mensaje, sino que depende del servidor web o de la tecnología de programación. HTTP utiliza TCP como protocolo de transporte predeterminado y TLS / SSL para seguridad. Por lo tanto, la comunicación entre el cliente y el servidor está orientada a la conexión. No define explícitamente la QoS y requiere soporte adicional para ella. HTTP es un estándar de mensajería web globalmente aceptado que ofrece varias características como conexiones persistentes, solicitud de canalización y codificación de transferencia fragmentada [15].

b) Advanced Message Queuing (AMQP)

AMQP es un protocolo ligero M2M, que fue desarrollado por John O'Hara en JPMorgan Chase en Londres, Reino Unido en 2003. Es un protocolo de mensajería corporativa diseñado para la confiabilidad, la seguridad, el aprovisionamiento y la interoperabilidad. AMQP admite tanto la arquitectura de solicitud/respuesta como la de publicación/suscripción. Ofrece una amplia gama de funciones relacionadas con la mensajería, como una cola confiable, la mensajería de publicación y suscripción basada en temas, el enrutamiento flexible y transacciones. El sistema de comunicación AMQP requiere que el editor o el consumidor cree un "intercambio" con un nombre dado y luego transmita ese nombre. Editores y consumidores usan el nombre de este intercambio para descubrirse entre sí. Posteriormente, un consumidor crea una "cola" y la conecta al intercambio al mismo tiempo. Los mensajes recibidos por el intercambio deben coincidir con la cola a través de un proceso llamado "vinculante". AMQP

intercambia mensajes de varias maneras: directamente, por tema o en base a encabezados [15].

c) Costrained Application Protocol (CoAp)

CoAP es el protocolo de aplicación restringida del grupo CoRE (Entornos de Recursos Restringidos) del IETF. Al igual que HTTP, CoAP es un protocolo de transferencia de documentos. A diferencia de HTTP, CoAP está diseñado para las necesidades de dispositivos restringidos. Los paquetes CoAP son mucho más pequeños que los flujos TCP de HTTP. Los campos de bits y las asignaciones de cadenas a enteros se usan ampliamente para ahorrar espacio. Los paquetes son simples de generar y se pueden analizar en el lugar sin consumir memoria RAM adicional en dispositivos restringidos. CoAP se ejecuta sobre UDP. Los clientes y servidores se comunican a través de datagramas sin conexión. Los reintentos y los reordenamientos se implementan en la pila de aplicaciones. Eliminar la necesidad de TCP puede permitir una red IP completa en microcontroladores pequeños. CoAP permite que la difusión y multidifusión UDP se utilicen para el direccionamiento. CoAP sigue un modelo de cliente/servidor. Los clientes realizan solicitudes a servidores y los servidores envían respuestas. Los clientes pueden obtener, poner, publicar y eliminar recursos. [15]

d) Message Queuing Telemetry Transport (MQTT)

Es un protocolo de mensajería de publicación y suscripción, extremadamente simple y ligero, diseñado para dispositivos limitados y redes de bajo ancho de banda, alta latencia o poco confiables. Los principios de diseño son minimizar el ancho de banda de la red y los requisitos de recursos del dispositivo al tiempo que se intenta garantizar la fiabilidad y cierto grado de seguridad de la entrega. Estos principios también hacen que el protocolo sea ideal para el mundo emergente de "máquina a máquina" (M2M) o

"Internet de las cosas" de dispositivos conectados, y para aplicaciones móviles donde el ancho de banda y la potencia de la batería son importantes. [16]

2.3. Modelo de solución

2.3.1. Diagrama de bloques propuesto

En el presente apartado se muestra desde una perspectiva general los bloques principales involucrados que conforman la solución. Tomando vista de izquierda a derecha se puede observar la participación de elementos y como se da la comunicación entre ellos.

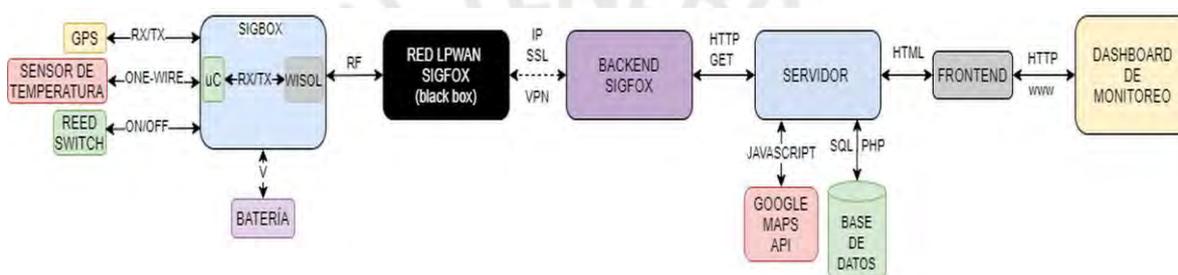


Figura 3. Diagrama de solución general

Se observa en la Figura 3 la interacción de los sensores por comunicación serial, protocolo one-wire y pulsos ON/OFF con el microcontrolador, el cual a su vez se comunica por serial con el transceiver WISOL para posteriormente modular los datos y transmitirlos por RF a las estaciones base propias de la red LPWAN de sigfox.

La red LPWAN de sigfox es gestionada de manera local en sus regiones de operación, por lo que un usuario no tiene acceso a los gateway y otros elementos de esta red, por ello se representa como una black box, seguidamente se comunica por IP con encriptación SSL y túneles VPN con el backend de sigfox.

El backend de sigfox es un entorno web donde se tiene acceso de manera basta a los dispositivos afiliados a una cuenta de usuario final de sigfox, y los mensajes que fueron emitidos por el transceiver WISOL que viene asociado a un identificador único con el cual se puede reconocer la procedencia del mensaje y

su posterior gestión. Estos mensajes pueden ser sometidos a un callback hacia un destino customizado o a un servidor.

Una vez el mensaje recibido en el servidor es gestionado empleando PHP y queries SQL para ser almacenados en una base de datos. Asimismo, gestionar los datos de la base de datos para ser mostrados en una API de Google maps mediante JavaScript y seguidamente sean mostrados en un frontend.

En el frontend soportado en HTML se muestra un dashboard interactivo en el cual es posible su acceso mediante http desde cualquier navegador web.

2.3.2. Arquitectura de comunicación

En la Figura 4 se presenta la arquitectura de comunicación basada en las capas del modelo OSI que son empleadas para llevar a cabo la solución propuesta.

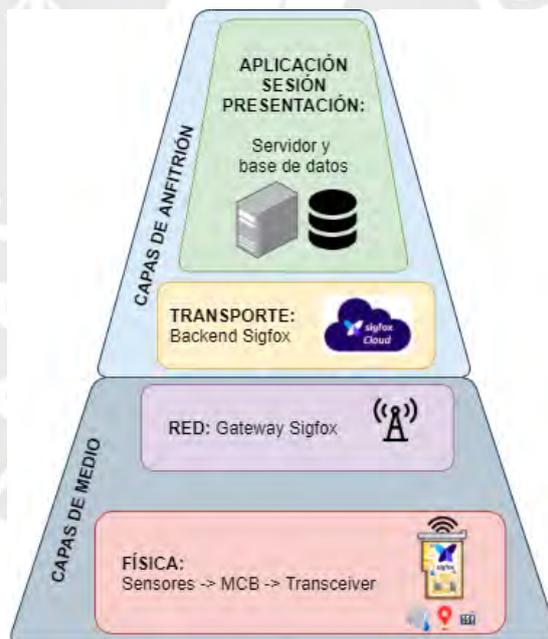


Figura 4. Arquitectura de comunicación

Se puede observar que en el primer nivel la capa física contiene las señales de sensores procesadas y enviadas por una señal modulada en D-BPSK por el transceiver para ser enviada a la capa de red donde se encuentra la estación base que contiene el gateway donde se conforma el paquete de red para luego adicionar la cabecera y conformar el segmento

de red en el backend de sigfox y finalmente interconectar a las capas de aplicación, sesión y presentación donde se alberga la aplicación.



CONCLUSIONES

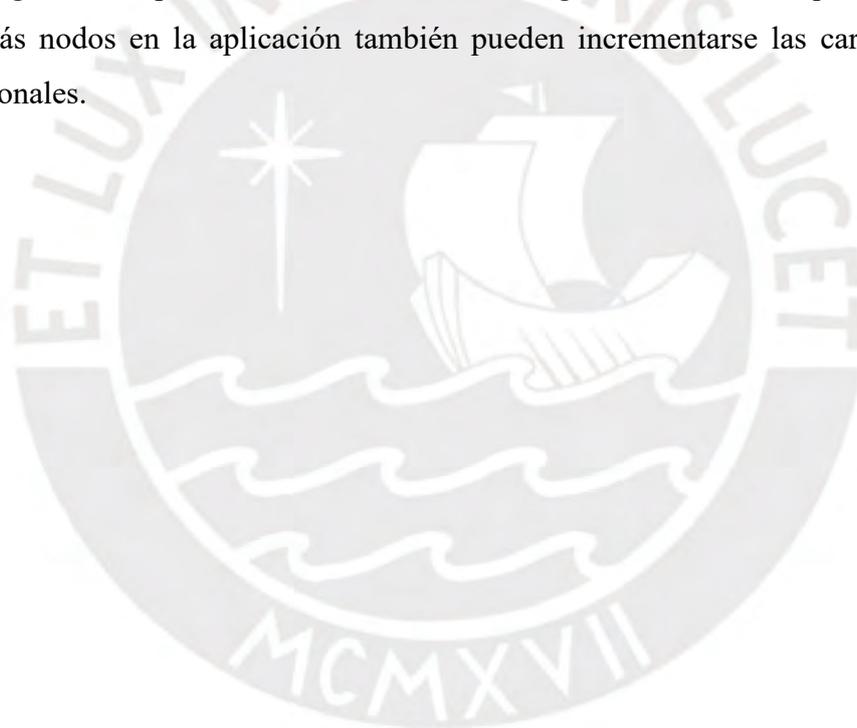
Se puede concluir que el empleo de redes LPWAN es imprescindible para una aplicación en la que no se cuenta con un suministro de energía constante. Debido a que en caso de emplear otras redes que requieren mayor potencia, reducirían el tiempo de autonomía del circuito alimentado.

Dentro de las LPWAN disponibles, si bien poseen características técnicas muy semejantes, presentan fortalezas diferentes entre ellas, por lo que la decisión a tomar para emplearlas depende de la aplicación. Sigfox no permite monitorear en tiempo real la aplicación por la limitación de 140 mensajes por día, pero existen un sinnúmero de aplicaciones que operan bajo esta modalidad, su fortaleza radica en su práctica manera de poder enviar datos hasta un servidor a un bajo costo a través de emplear una sencilla suscripción con el operador sigfox de la región de aplicación, mientras que en otras redes LPWAN requieren autogestionar los elementos de su red.

Es factible concluir que los sensores y la electrónica a conectar en la main circuit board situada en el triciclo deben ser seleccionados bajo el criterio de, además de cumplir requerimientos de función, presentar un bajo consumo de potencia para no descargar la batería con mayor celeridad y de este modo aumentar el tiempo de autonomía de la aplicación.

RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Ya que la aplicación albergará cientos de nodos o hasta cientos de miles de nodos, dependiendo de la cantidad de triciclos suscritos, se requerirá realizar un diseño escalable tanto desde los circuitos impresos, diseño de mecánica implicada en el montaje del MCB en la infraestructura del triciclo. En donde se presentará una mayor necesidad de escalamiento es en el servidor y la base de datos, por lo que se recomienda no implementar un data center físico, sino emplear servicios en la nube, provistos por AWS, Azure o Google Cloud Platform. Empleando estos servicios es posible usar la elasticidad computacional que ofrecen, es decir que si de punto de partida se requiere únicamente un número reducido de nodos, no es necesario muchas características computacionales, por lo tanto, pagar menos por el servicio contratado. Luego en el momento que se requiera ampliar más nodos en la aplicación también pueden incrementarse las características computacionales.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] RPP, «El helado en Lima, cuánto, dónde y por qué se consume,» 2019. [En línea]. Available: <https://rpp.pe/economia/economia/el-helado-en-el-peru-cuanto-donde-y-por-que-se-consume-noticia-1186308>. [Último acceso: 11 Noviembre 2019].
- [2] L. Joris, «An autonomus SigFox wireless sensor node for environmental monitoring,» *IEEE Sensors Letters*, vol. 3, n° 7, 2019.
- [3] K. Zheng, S. Zhao, Z. Yang, X. Xiong y W. Xiang, «Design and implementation of LPWA-based air quality monitoring system,» *IEEE ACCESS*, vol. 4, pp. 3238-3245, 2016.
- [4] S. Dragan, «Web Information System for Transport Telematics and Fleet Management,» *IEEE Xplore*, vol. 18, 2009.
- [5] MOWIS Supervising, «Sistema de supervisión y gestión 4.0,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.moreto.com/es/nuestras-competencias/supervising/mowis/supervising>. [Último acceso: 11 Noviembre 2019].
- [6] J. Paul, «DISK 91-TECHNOLOGY BLOG,» 20 Setiembre 2019. [En línea]. Available: <https://www.disk91.com/2019/news/sigfox-news/i-held-the-first-1-sigfox-iot-device/>. [Último acceso: 2020 Noviembre 06].
- [7] International Conference on Computer, Control, Electrical, and Electronics Engineering (ICCEEE), «Simulation and Modelling of LoRa and Sigfox Low Power Wide Area Network Technologies,» 2018.
- [8] Noticias y eventos departamento de ingeniería, «Convenio con WND: Internet de las Cosas en la PUCP,» 24 Agosto 2020. [En línea]. Available: <https://departamento.pucp.edu.pe/ingenieria/2018/08/24/internet-las-cosas-la-pucp/>. [Último acceso: 07 Noviembre 2020].
- [9] Microsoft, «IoT Signals,» 2019. [En línea]. Available: <https://azure.microsoft.com/mediahandler/files/resourcefiles/iot-signals/IoT-Signals-Microsoft-072019.pdf>. [Último acceso: 7 Octubre 2019].

- [10] Ingeniería Mecafenix, «Termistor sensor de temperatura,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.ingmecafenix.com/automatizacion/termistor-sensor-temperatura/>. [Último acceso: 2019 Noviembre 11].
- [11] AGPS, «Sistemas de localización,» 2018. [En línea]. [Último acceso: 17 Noviembre 2019].
- [12] H. David, S. Gonzalo, G. Patrick, B. Robert y H. Jerome, «Networking Technologies, Protocols, and Use Cases for the Internet of Things,» *IoT Fundamentals*, 2017.
- [13] P. Raj y A. Raman, «The Internet of things: Enabling technologies, platforms, and use cases,» *CRC Press*, vol. 1, 2017.
- [14] Sigfox, «Sigfox technology,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.sigfox.com/en/what-sigfox/technology>. [Último acceso: 2019 Noviembre 11].
- [15] N. Naik, «Choice of effective messaging protocols for IoT systems: MQTT, CoAP, AMQP and HTTP,» *IEEE International Systems Engineering Symposium (ISSE)*, vol. 1, pp. 1-7, 2017.
- [16] MQTT Org., «Frequently Asked Questions,» [En línea]. Available: <http://mqtt.org/faq>. [Último acceso: 19 Noviembre 2019].