



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

IoT^x: Arquitectura tecnológica integrada (Fase 1)

Bernardo Hernández Sánchez
Marisol Barrón Bastida
Miguel Gastón Cedillo Campos

Publicación Técnica No. 664
Sanfandila, Qro.
2021

ISSN 0188-7297

Esta investigación fue realizada en la Coordinación de Transporte Integrado y Logística del Instituto Mexicano del Transporte, por el Mtro. Bernardo Hernández Sánchez, la Mtra. Marisol Barrón Bastida y el Dr. Miguel Gastón Cedillo Campos.

Esta publicación es el producto final del proyecto de investigación interna TI 18/20: Arquitectura tecnológica integrada para la gestión efectiva de bahías de carga y descarga de mercancías fase 1. Cabe mencionar que el término “IoT^x” es utilizado en el título de ésta publicación y se refiere al Programa de Investigación en Tecnología de Internet de las Cosas, con aplicación a la Logística y el Transporte, el cual se alinea con los objetivos de investigación y desarrollo tecnológico del SiT LOG Lab.

El presente proyecto toma como base, las experiencias obtenidas durante el desarrollo del LogistiX-Lab (Primer Laboratorio de Logística Urbana en Tiempo Real de América Latina). Diseñado e implementado tanto por el Dr. Miguel Gastón Cedillo Campos, como por el Dr. Jan Fransoo.

Se agradece la revisión y aportaciones del Dr. Carlos Martner Peyrelongue, coordinador de Transporte Integrado y Logística del IMT, cuyas observaciones y contribuciones mejoraron la calidad de este documento.

Se agradece también el apoyo brindado por el Laboratorio Nacional de Sistemas de Transporte y Logística (SiT-LOG Lab), cuyas capacidades tecnológicas facilitaron el desarrollo de un ambiente de pruebas funcionales en tecnología IoT.

Contenido

	Página
Sinopsis.....	vii
Abstract.....	ix
Resumen ejecutivo.....	xi
Introducción.....	1
1. Internet de las Cosas (IoT), una visión general.....	3
1.1 Definiciones del IoT.....	4
1.2 Características del IoT.....	5
1.3 Tecnologías de comunicación para IoT.....	5
1.4 Seguridad en IoT.....	8
2. Aplicaciones IoT en diversos sectores e industrias.....	11
2.1 IoT en la agroindustria.....	11
2.2 IoT en el sector salud.....	11
2.3 IoT en el sector eléctrico.....	11
2.4 IoT en el sector manufactura.....	12
3. Arquitecturas de referencia en IoT.....	13
3.1 Arquitectura de tres capas.....	13
3.2 Arquitectura de cuatro capas.....	14
4. Modelo tecnológico funcional.....	17
4.1 Dispositivos IoT.....	18
4.2 Antena de largo alcance.....	18
4.3 Servidor principal.....	19
4.4 Base de datos.....	19
5. Aplicación de pruebas y resultados.....	21
5.1 Instalación de sensores.....	21
5.2 Arranque de pruebas.....	22

5.3	Modelo de procesamiento.....	23
5.4	Procesamiento de flujo de datos	25
5.5	Primeros resultados	26
6.	Conclusiones.....	29

Índice de figuras

Figura 3.1	Arquitecturas IoT.	13
Figura 3.2	Arquitectura de 3 capas.	14
Figura 4.1	Modelo tecnológico funcional.	17
Figura 4.2	Vista física de dispositivo IoT.	18
Figura 4.3	Antena y gráfica de espectro de frecuencia.	19
Figura 5.1	Instalaciones del Instituto Mexicano del Transporte.	21
Figura 5.2	Instalación de dispositivo IoT en el IMT.	22
Figura 5.3	Campaña de información.	22
Figura 5.4	Monitoreo de actividad de los sensores en sitio.	22
Figura 5.5	Arquitectura basada en API REST.	23
Figura 5.6	Mapeo de solicitudes previamente definidas en el servicio web.	24
Figura 5.7	Petición en un intervalo de tiempo.	24
Figura 5.8	Trama para intercambio de mensajes.	25
Figura 5.9	Flujo de trabajo para prueba de sensores.	25
Figura 5.10	Gráfica de actividad de sensores <i>sigtraffic</i>	26
Figura 5.11	Actividad del sensor <i>sigpark</i>	27

Sinopsis

Este trabajo presenta la Fase 1 del estudio sobre tecnología del Internet de las Cosas (IoT) aplicable a la arquitectura tecnológica integrada para la gestión efectiva de bahías de carga y descarga de mercancías.

Se incluye una revisión de la tecnología IoT, sus términos y características más relevantes. Se presentan los primeros resultados de un conjunto de pruebas realizadas a dispositivos IoT en el Laboratorio Nacional en Sistemas de Transporte y Logística (SiT-LOG) de la Coordinación de Transporte Integrado y Logística, del Instituto Mexicano del Transporte (IMT).

Con base en la propuesta del proyecto interno TI 18/20, primero se desarrolló un análisis a nivel global de estado del arte de dicha tecnología, lo cual permitió la identificación de áreas potenciales de investigación y desarrollo. Segundo, se estableció un protocolo para el desarrollo de la evaluación de dispositivos y sensores IoT. Tercero, se realizaron pruebas operacionales para establecer una arquitectura funcional.

La originalidad de este trabajo estriba en la propuesta de una arquitectura funcional IoT, como base para el desarrollo a futuro de una plataforma que permita gestionar objetos para el control de bahías de carga y descarga de mercancías como una nueva aplicación tecnológica no existente en el mercado.

Abstract

This paper presents Phase 1 of the study on Internet of Things (IoT) technology applicable to the integrated technology architecture for the effective management of goods loading and unloading bays.

A review of IoT technology, its most relevant terms and characteristics are included. The first results of a set of tests performed on IoT devices at the National Laboratory for Transportation and Logistics Systems (SiT-LOG) of the Integrated Transportation and Logistics Coordination of the Mexican Institute of Transportation (IMT), are presented.

Based on the proposal of the internal project TI 18/20 first, a global analysis of the state of the art of this technology was developed, which allowed the identification of potential areas for research and development. Second, a protocol was established for the development of the evaluation of IoT devices and sensors. Third, operational tests were performed to establish a functional architecture.

The originality of this work lies in the proposal of an IoT functional architecture, as a basis for the future development of a platform to manage objects for the control of bays for loading and unloading of goods as a new technological application that does not exist in the market.

Resumen ejecutivo

El presente documento incluye una revisión sobre el estado del arte de la tecnología IoT, sus términos y características más relevantes para su aplicación a la gestión de bahías de carga/descarga. Así mismo, se presentan los primeros resultados de un conjunto de pruebas realizadas a dispositivos IoT dentro del Laboratorio Nacional en Sistemas de Transporte y Logística (SiT-LOG) adscrito a la Coordinación de Transporte Integrado y Logística, del Instituto Mexicano del Transporte (IMT).

En el capítulo 1 “El Internet de las Cosas (IoT), una visión general”, se abordan algunas definiciones del concepto del IoT, así como sus características relevantes con la finalidad de establecer las bases del tema. Igualmente, se revisan algunas tecnologías habilitadoras al implementar un proyecto de Internet de la Cosas.

El capítulo 2 “Aplicaciones IoT en diversos sectores e industrias” se abordan algunos de los sectores e industrias a las que apunta la tecnología IoT. Más allá de que se adopten, se menciona el cómo mejorarán la calidad de vida de las personas. Se hace una breve referencia a la agroindustria, el sector salud, sector eléctrico, y la industria automotriz, por mencionar solo algunos.

En el capítulo 3 “Arquitecturas de referencia en IoT” se presenta la arquitectura base para implementar un proyecto de Internet de las Cosas. Se propone la infraestructura y se especifican los componentes físicos y su organización funcional, así como sus principios y procedimientos operacionales, y los tipos de datos que se intercambian entre ellos. Se presenta una breve explicación de la arquitectura de tres y cuatro capas como base del modelo tecnológico y funcional que se aborda en el capítulo 4.

El capítulo 4 “Modelo tecnológico funcional” describe cómo se relacionan y comunican los elementos del modelo, su escalabilidad, modularidad y la configuración de su implementación. Se hace referencia a la arquitectura en la que se basó el modelo.

El capítulo 5 “Modelo tecnológico funcional” describe el modelo funcional y se indica cómo se relacionan y comunican los elementos del modelo, su escalabilidad, modularidad y configuración de la implementación. Se da una breve explicación de la función específica de cada componente en el modelo; los sensores utilizados, el tipo y características de la antena de comunicación, características del servidor principal y software implementado, así como, características del sistema de bases de datos.

Finalmente, en el capítulo 6 se presentan las conclusiones y perspectivas de investigación futuras.

Introducción

El concepto Internet de las Cosas (IoT) involucra un número cada vez mayor de objetos heterogéneos e inteligentes de la vida cotidiana, por ejemplo: vehículos, sensores de salud, de ropa, equipos industriales, cerraduras, luces inteligentes, teléfonos inteligentes, etc. El IoT está definido como una evolución de la actual red de Internet. Su objetivo es permitir que los objetos identificables digitalmente, de forma única, puedan comunicarse con otros objetos y sistemas distribuidos utilizando estándares abiertos. Este nuevo paradigma ofrece servicios innovadores, omnipresentes y ubicuos, que encuentran aplicación tanto en los sectores tradicionales, como en la automatización o el control industrial, así como en los campos de la salud, energía, industria automotriz, agricultura, ciudades inteligentes, entre otros. Por otra parte, las tecnologías móviles y de banda ancha desempeñan un papel importante, pero pueden suponer un gasto innecesario en términos de consumo y costos. Los dispositivos IoT disponibles en el mercado tienen características en común en cuanto a formas y tamaños, pero también en el costo y peso. Una característica diferencial que es fundamental es la eficiencia.

El Internet de las Cosas, implica retos significativos, requiere entre otras cosas, soportar un gran número de dispositivos conectados con muy alta confiabilidad y bajo consumo de recursos. Para superar estos retos existen tecnologías diseñadas para ello, las cuales se comparten en este documento.

Se destacan los siguientes criterios clave a considerar al evaluar tecnologías de comunicación inalámbrica:

- Transferencia de datos: capacidad de transferencia de datos por nodo;
- Bajo consumo de energía: energía requerida para transmitir o recibir datos;
- Costo: de implementación y renta del servicio por nodo;
- Alcance: distancia máxima de conexión entre emisor y receptor.

Los sensores pueden funcionar de forma unitaria o estar agrupados e integrados en redes de sensores. Estos sensores se utilizan para recoger información en tiempo real sobre los parámetros del entorno circundante, tal como: temperatura, ubicación, movimiento, etc. Para que los objetos inteligentes interactúen entre sí, a pesar del hardware, software y protocolos de comunicación, se utiliza una capa de software llamada *middleware*, el cual se trata de un componente arquitectónico importante para soportar las aplicaciones distribuidas que suelen situarse entre las aplicaciones y el sistema operativo. El papel del *middleware* es presentar un modelo de programación unificado para diseñadores y desarrolladores de las aplicaciones y enmascarar los problemas de heterogeneidad entre los objetos y la distribución de software.

1. Internet de las Cosas (IoT), una visión general

El Internet de las Cosas (IoT - por sus siglas en inglés), se refiere a un conjunto de dispositivos y sistemas en el que se interconectan activadores y sensores de la vida real con internet. Esto posibilita su control, administración y acceso a la información generada mediante protocolos y aplicaciones estándar. La novedad de esta tecnología radica en el despliegue de multitud de objetos inteligentes capaces de comunicarse entre sí, con posibilidad de interoperación.

Bajo este término, se incluyen una multitud de sistemas, por ejemplo:

- Automóviles conectados a internet;
- Dispositivos usables, o *wearable*, en los que se incluyen dispositivos de monitorización de salud o incluso, dispositivos implantados en personas;
- Sistemas de automatización del hogar;
- Teléfonos inteligentes;
- Redes de sensores para el control meteorológico del clima y marea.

En la actualidad, muchos de los sensores ofertados en el mercado tienen interfaces propietarias definidas por sus fabricantes. De este modo, para implantar la tecnología IoT, se requiere de la elaboración de una nueva *API*¹ para la integración de un nuevo sensor, pasarelas o portales de integración, que es finalmente donde la información obtenida es empleada.

El uso de interfaces estándar para los sensores en el marco del Internet de las Cosas, permitiría que las aplicaciones y servicios relacionados proliferen exponencialmente, mejorando la economía de escala, la interoperabilidad y reutilización. Los estándares se focalizan en el contenido de la información de los sensores y facilitan la integración de los datos generados en las diferentes aplicaciones de usuario, además, permiten la evaluación de los datos por parte de los usuarios y el procesamiento de la misma para obtener información adecuada a las necesidades específicas de cada caso de uso y escenario.

¹ Interfaz de Programación de Aplicaciones. Es un intermediario de software que permite que dos aplicaciones se comuniquen entre sí.

1.1 Definiciones del IoT

Hoy en día a pesar de los esfuerzos de la industria, de la academia y de los organismos de tecnología y normalización, aún no existe una única y universal definición. A continuación, se exponen algunas definiciones:

- Para el *Internet Engineering Task Force – IETF (2021)*: *“La Internet de las cosas (IoT) es la red de objetos físicos o “cosas” integradas con componentes electrónicos, software, sensores, actuadores y conectividad para permitir que los objetos intercambien datos con el fabricante, el operador y/u otros dispositivos conectados”*.
- Una definición formulada por *Zack Shelby & Carsten Bormann (2009)* centrada en la conectividad IP afirma que el IoT *“abarca todas las redes y los dispositivos integrados que están habilitados para IP y conectados a Internet de forma nativa, junto con los servicios de Internet que monitorizan y controlan esos dispositivos”*
- *Vermesan (2013)* describe el IoT como: *“una extensión de la Internet actual y menciona que las personas y las cosas estén conectadas en cualquier momento, desde cualquier lugar con cualquier “cosa” y con cualquiera, utilizando cualquier ruta en la red y cualquier servicio”*.

Se observa que no existe una definición concluyente. Sobre todo, debido a que se pueden realizar interpretaciones que dependen de la perspectiva tomada por quien propone la definición, el dominio de aplicación, los escenarios de implementación, etc. Sin embargo, algo fundamental refiere a que los objetos se identifican de forma única en su entorno de red y que pueden comunicarse e intercambiar datos entre sí en cualquier momento, desde cualquier lugar y con cualquier dispositivo de forma autónoma, utilizando cualquier ruta para proporcionar servicios a usuarios finales.

1.2 Características del IoT

A partir de su definición se pueden establecer algunas características fundamentales que identifican al IoT. Este engloba desde simples sensores de temperatura, hasta sistemas industriales automatizados para el transporte de productos a escala mundial, los cuales, miden, recopilan y envían datos a un servidor centralizado. Los dispositivos IoT normalmente son de tamaño pequeño e incluyen: un procesador, sensores, actuadores y comunicación, que en conjunto le permiten realizar determinadas acciones, por ejemplo, comunicarse y cooperar con otros dispositivos conectados. Además, son fácilmente configurables de forma remota y localizables, tanto físicamente, como en el entorno de red de la que forman parte.

Por otro lado, los foros tecnológicos y los organismos normativos, han enfocado su esfuerzo al desarrollo de soluciones con dispositivos de muy baja potencia y centrados en el aprovisionamiento de redes de malla. Lo que ha reducido el costo de los mismos.

Existen cuatro requisitos principales para el despliegue masivo de servicios de IoT:

- Bajo costo, integración de los dispositivos con sensores y actuadores;
- Gestión eficiente de energía, mayor autonomía a los dispositivos IoT;
- Cobertura ubicua. El despliegue debe garantizar alto grado de cobertura (en interiores y en exteriores);
- Escalabilidad, teniendo en cuenta despliegues de escenarios “ultra-densos” y el crecimiento exponencial de los dispositivos.

1.3 Tecnologías de comunicación para IoT

Como hemos visto, el IoT es un sistema complejo de dispositivos digitales conectados que aportan datos sobre los eventos del mundo real para tomar mejores decisiones. Uno de los principales habilitadores de un proyecto de Internet de las Cosas son las redes de comunicación, las cuales permiten conectar dispositivos, máquinas, sensores o “cosas” y que, además, generan datos desde cualquier punto geográfico del planeta. Existen tecnologías de comunicación para IoT desarrolladas por asociaciones de empresas que ya han sido probadas con éxito, y que, además, se encuentran en funcionamiento en diferentes regiones del mundo. A continuación, se exponen algunas de las tecnologías más representativas:

- **Tecnología M2M GSM/GPRS.** Las redes de comunicación a través del sistema M2M (Machine to Machine) han sido la principal apuesta por parte de las grandes empresas del sector de las telecomunicaciones. Vinculadas a la tarjeta SIM, la conectividad por M2M ha nacido del modelo de negocio del GPRS y el pago por Mbyte transmitido, tal y como se conoce ahora para tecnologías como el 3G/4G. Sin embargo, el entramado de un proyecto de IoT (conectar miles de dispositivos que manden pocos datos) es el principal

enemigo del M2M por su difícil escalabilidad, cobertura asociada a un operador y costo vs datos transmitidos. Por otro lado, el alto costo energético que suponen las transmisiones de datos en tecnología 3G y 4G, conlleva un coste importante, frecuentemente poco abordable en equipos que deben ser desplegados en campo y alimentados por batería. Sin duda la red de M2M actual es la más comercializada en el mundo para IoT, apoyada por las operadoras de telecomunicaciones, pero con una clara orientación a perder protagonismo por el NarrowBand² IoT en los próximos años.

- **Tecnología Sigfox.** Es la red de comunicaciones LPWAN (*Low-power Wide-area network*) específica para IoT y más extendida a nivel mundial, que permite escuchar millones de objetos que transmiten datos, sin la necesidad de establecer y mantener conexiones de red. Su protocolo compacto y optimizado, donde no hay encabezado de señalización, permite que los objetos no estén conectados a la red. Sigfox ofrece una solución de comunicaciones basada en software, donde toda la complejidad informática y de la red se gestiona en la nube, en lugar de los dispositivos. Todo esto reduce drásticamente el consumo de energía y los costos de los dispositivos conectados (SigFox, 2021). Técnicamente es muy completa, ya que ofrece soluciones de baja velocidad y cuenta con un ancho de banda de 100 KHz que permite 50K conexiones por celda.

A continuación, se enlistan algunas de sus características:

- **Radio modulación de banda ultra-estrecha.** Permite transmitir a largas distancias, siendo al mismo tiempo muy robusto al ruido.
- **Protocolo ligero.** Permite manejar pequeños mensajes con pocos datos, lo que se traduce en un menor consumo energético; con ello se alcanza una mayor duración de la batería del dispositivo.
- **Carga útil pequeña.** Un mensaje tiene hasta 12 bytes de carga útil y tarda un promedio de 2 segundos en llegar a la radio base más cercana. Los mensajes de descarga se componen de un máximo de 8 bytes.
- **Arquitectura de red en estrella.** Un dispositivo no se conecta a una estación base específica como en los protocolos de telefonía celular. El mensaje emitido por el dispositivo es escuchado en promedio por tres estaciones base que están dentro del alcance.
- **Opciones de diseño.** Esta tecnología está optimizada para el monitoreo masivo de dispositivos IoT, larga duración de la batería del dispositivo, bajo costo del dispositivo, bajo costo de conectividad, alta capacidad de red y largo alcance.

² Conexión de banda estrecha. Hace referencia a un tipo de conexión que utiliza un ancho de banda muy reducido.

- **Tecnología LoRaWan.** LoRa es otra red LPWAN con un protocolo de red de área amplia de baja potencia (LPWAN), basado en su propia tecnología. Ha sido diseñada para conectar de forma inalámbrica a Internet dispositivos que funcionan con baterías en redes regionales, nacionales o mundiales. Esta tecnología aprovecha el espectro radioeléctrico sin licencia en las bandas ICM (Industrial, Científica y Médica). La especificación define los parámetros de la capa física de *LoRa* y el protocolo *LoRaWAN*, proporcionando una interoperabilidad transparente entre dispositivos (*LoRa*, 2021).

La empresa Semtech proporciona chips de radio con tecnología LoRa y Lora Alliance, una organización sin ánimo de lucro que promueve la estandarización y la armonización global del protocolo LoRaWAN. LoRa es un estándar desarrollado por una asociación de empresas a través de redes LPWA para aplicaciones IoT, *M2M* y *Smart Cities*. Tiene un ancho de banda de 125KHz que permite 40K conexiones por celda. Su presencia es la más extendida entre las soluciones analizadas ya que cuenta con despliegues en Holanda, Bélgica, Francia, Italia, Alemania, EEUU, Oceanía, Japón, India, Corea del Sur y Sudáfrica. A continuación, se enlistan algunas de sus características:

- Sensores de baja potencia y amplia cobertura medida en kilómetros;
- Opera en bandas de frecuencia libres (sin licencia);
- Su bajo consumo permite larga duración de la batería (de 2 a 5 años);
- Una sola pasarela LoRa permite conectar miles de dispositivos o nodos al mismo tiempo;
- Fácil de implementar gracias a su arquitectura sencilla;
- Mayor tamaño de la carga útil (100 bytes) en comparación con Sigfox (12 bytes);
- Estándar abierto en comparación con la competencia de Sigfox;
- No hay restricciones en el número máximo de mensajes diarios, en comparación con Sigfox (140 mensajes/ día);
- Una capa de seguridad para la red y otra con AES (Advanced Encryption Standard) para la aplicación;
- Comunicación totalmente bidireccional.

- **NarrowBand IoT.** La NarrowBand IoT (NB IoT) es otra red con tecnología LPWAN, en este caso, la gran apuesta de las operadoras de telecomunicaciones a nivel global. Esta tecnología tiene su factor diferencial en que su espectro de funcionamiento entra dentro del rango del LTE o 4G, por lo que su despliegue y explotación comercial está casi asegurada gracias a la red actualmente desplegada. No obstante, la puesta en marcha de esta tecnología y las bondades de la misma están pendientes de ser analizadas por los expertos y por los propios clientes.
- **BLE.** BLE o Bluetooth de baja energía es otra tecnología inalámbrica de comunicaciones al servicio de determinados sectores de aplicación dentro del IoT. Permite interoperar pequeños dispositivos desarrollados para usar Bluetooth y destinados a mandar paquetes de datos reducidos, en comparación con el resto de tecnologías que están capacitadas para mandar grandes volúmenes de datos. Bluetooth es la tecnología utilizada para dispositivos pequeños (aquellos que usan como batería una pila de botón), para dar servicios de señalización y localización, y que pueden durar meses gracias a la baja tasa de transmisión de datos que presentan.

1.4 Seguridad en IoT

En un mundo cada vez más conectado, el Internet de las Cosas ofrece múltiples beneficios. Los dispositivos conectados recolectan e intercambian una gran cantidad de información de su entorno, por lo que se puede tener la confianza de que los dispositivos conectados y los datos que se generan, solo son accesibles de forma autorizada. La seguridad en el IoT es un aspecto muy importante, los dispositivos conectados recolectan un gran número de información de su entorno, esto hace que nos encontremos con tres categorías de riesgo:

- Riesgos inherentes de cualquier sistema de internet;
- Riesgos específicos de los dispositivos IoT;
- Seguridad para cerciorarnos de que no se causan daños, por ejemplo, el mal uso de los actuadores.

Al referirnos al tema de ciberseguridad nos referimos a la capacidad de resistir a los riesgos, protegiendo la integridad y la confidencialidad de los datos, en la infraestructura del IoT. Existen diversas maneras en que un atacante puede acceder a las funciones del dispositivo o a los datos de un objeto conectado. Los principales puntos de ataque en las capas del IoT son los dispositivos, la red, las conexiones, y la infraestructura de la nube.

Tomando como base lo anterior, algunos de los principios de seguridad del IoT, son:

- **Confidencialidad:** Se refiere a que los servicios no autorizados no deben acceder a información privada, lo que asegura la protección de la privacidad y la información de propiedad;
- **Integridad:** Significa que la información y los dispositivos de IoT no pueden ser modificados ni utilizados por usuarios y objetos no autorizados;
- **Disponibilidad:** Implica que la infraestructura y la información deben estar disponibles cuando un servicio los necesite. Esto significa que los dispositivos IoT que se utilizan para detectar el entorno físico, los sistemas que se utilizan para almacenar y procesar la información, así como, los canales de comunicación deben funcionar correctamente;
- **Autenticidad:** Este principio debe validar que las partes que participan en una transacción deben ser las que dicen ser, es decir, la autenticidad asegura que la información y las transacciones sean genuinas.

2. Aplicaciones IoT en diversos sectores e industrias

Diversos estudios afirman que, en 2025, el 40% de las implementaciones del Internet de las Cosas, se situará en el sector industrial (Manyika 2015. E. Macías 2018, galileo.edu 2020). Las aplicaciones en IoT son uno de los motores para su desarrollo. El IoT tiene enorme potencial para desarrollar nuevas aplicaciones inteligentes en casi todos los campos, esto es básicamente por su capacidad de recopilar información sobre: su entorno, parámetros médicos o hábitos de los usuarios y con ello, ofrecer servicios personalizados. Estas aplicaciones apuntan a que tendrán gran impacto en la vida diaria de las personas.

2.1 IoT en la agroindustria

Actualmente la industria agrícola está centrada en los datos, es precisa y es más inteligente que nunca. El Internet de las cosas permite a los agricultores, ganaderos y apicultores mantenerse conectados.

Los agricultores pueden conocer de forma instantánea y a distancia varios datos generados por medio de sensores, los cuales miden en tiempo real las condiciones de los cultivos, antes y después de ser sembrados. Reconocen la calidad del suelo, su humedad, bioquímica, contenido de nutrientes, así como las condiciones atmosféricas del plantío. Estos datos permiten elaborar una estrategia de cultivo integral que prevé situaciones irregulares e indica cómo efectuar el riego de agua y qué tipo de fertilizantes utilizar.

2.2 IoT en el sector salud

Una aplicación del IoT en el sector salud pueden ser el uso de dispositivos *wearables*. De esta forma se posibilita la conectividad del estado de salud de una persona con los médicos, el centro de salud o sus familias, y con ello, detectar en tiempo real las irregularidades y actuar en consecuencia. También se puede prever un síntoma que se visualice a futuro, todo gracias a los datos recabados como, por ejemplo: la presión arterial, el nivel de glucosa, la oxigenación, la temperatura, entre otros.

2.3 IoT en el sector eléctrico

Con la reducción de las fuentes de energía fósil y una mayor demanda de consumo debido al aumento de la población, se están creando nuevos modelos de producción, entrega y consumo de electricidad. Las empresas públicas y privadas buscan maximizar la producción, la disponibilidad y la confiabilidad de la energía;

sin dejar de estar comprometidos con el medio ambiente. Ahora más que nunca, las herramientas digitales son un punto clave necesario para esta transformación hacia un modelo más eficiente para entregar energía segura y confiable.

Por ejemplo, al proporcionar datos en tiempo real sobre el uso de la electricidad, los medidores inteligentes permiten a los proveedores de servicios públicos optimizar la distribución de energía. Al mismo tiempo, permiten a los consumidores tomar decisiones más inteligentes sobre el uso de la energía.

2.4 IoT en el sector manufactura

La aplicación del IoT en el sector automotriz tendrá gran impacto, prueba de ello son los automóviles equipados con sensores que podrán reconocer y comunicarse con señales de tránsito, marcas y otros objetos al exterior. También podrán realizar tareas para los conductores con un asistente de voz. Por otra parte, el pronóstico para el año 2021, según un análisis de Juniper Research (2019) señala que la mayoría de los pagos de IoT de automóviles serán para casetas de cobro y combustible, lo que significa que los conductores ya no tendrán que llevar dinero en efectivo. Además, se prevé que los accidentes en carretera se reduzcan con la tecnología del IoT (k. Palacios 2020, america-retail.com/tecnologias-emergentes 2020).

3. Arquitecturas de referencia en IoT

Una arquitectura de referencia proporciona una guía con las restricciones necesarias para la creación de instancias. Por otro lado, facilita un lenguaje común que permite a todas las partes implicadas comunicarse claramente y sin ambigüedades, además, garantiza uniformidad porque proporciona una implementación homogénea de la tecnología en toda la organización.

En los últimos años, se han propuesto un número cada vez mayor de arquitecturas basadas en una estructura de múltiples capas (ver figura 3.1), donde cada una cumple una función específica.



Fuente: M. Wu, Li S. Xu. 2015.

Figura 3.1 Arquitecturas IoT.

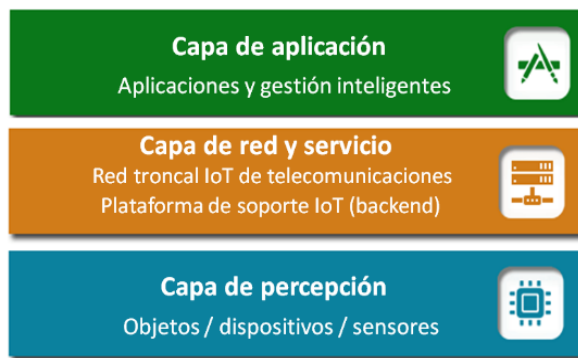
3.1 Arquitectura de tres capas

Por arquitectura entendemos la infraestructura para la especificación de una red de componentes físicos, su configuración, organización funcional, sus principios, procedimientos operacionales, y los tipos de datos que se intercambian entre ellos. Es decir, describe cómo los componentes físicos del IoT recogen los datos, cómo se procesan e intercambian, y en qué formato lo hacen.

Normalmente se describen las arquitecturas atendiendo a diferentes “capas”, cada una de las cuales tiene su función específica, y dispone de sus propios protocolos (los “lenguajes” de comunicación entre los componentes de cada capa).

A continuación, se describe la funcionalidad de cada una de las capas de la arquitectura de tres capas:

- **Capa de percepción:** Es la capa sensorial donde “las cosas” identifican sus alrededores, recaban información del mundo físico e interactúan con él. La capa de percepción está formada por los objetos físicos y los dispositivos o sensores. Estos convierten la información en señales eléctricas, facilitando su transmisión. La información recopilada se envía a la capa de red para su transmisión de manera segura al sistema de procesamiento de la información.
- **Capa de red:** Es la capa central y su función principal es transmitir y procesar la información obtenida por la capa de percepción. Esta capa también es responsable por interconectar otras redes de dispositivos inteligentes, elementos de red y servidores. La capa de red también llamada “*capa de transmisión*” transfiere de forma segura la información de los dispositivos a un sistema de procesamiento. El medio de transmisión puede ser cableado o inalámbrico y la tecnología puede ser 3G, UMTS Wifi, Bluetooth, infrarrojos, ZigBee, etc., dependiendo de los dispositivos.
- **Capa de aplicación:** Capa responsable por entregar servicios y aplicaciones específicas al usuario final. Esta capa puede entenderse como la convergencia entre IoT y las necesidades industriales, definiendo aplicaciones específicas para casas inteligentes, ciudades inteligentes, transporte inteligente, entre muchas otras. Esta capa proporciona una gestión global de la aplicación basada en la información de los objetos procesados en la capa de *middleware*.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2 Arquitectura de 3 capas.

3.2 Arquitectura de cuatro capas

La arquitectura de cuatro capas, además de la de tres, incluye la capa de servicio, a continuación, se describe la función de ésta capa.

- **Capa de servicio:** La capa de servicio también denominada capa de *middleware* es responsable de almacenar datos provenientes de la capa de

transporte, extraer información de valor a partir del procesamiento y análisis de estos. Puede administrar y proporcionar un conjunto de servicios a las capas inferiores.

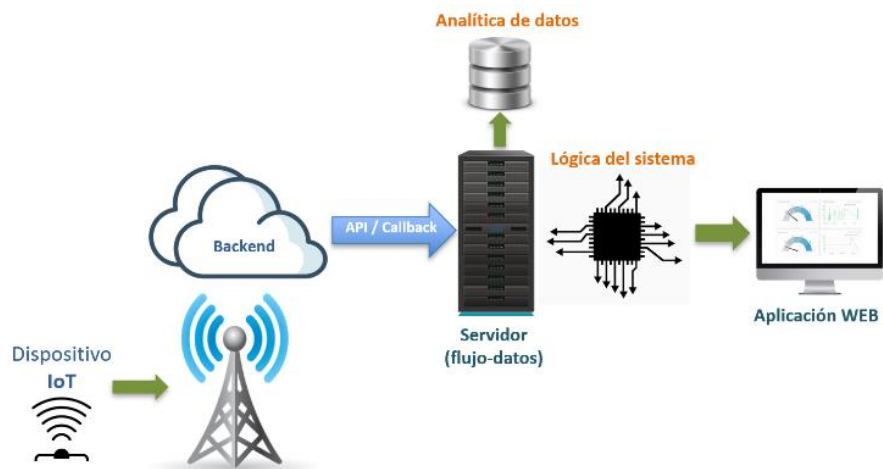
Con base a lo mencionado en este capítulo, se propone un modelo tecnológico funcional con una estructura de múltiples capas. En el capítulo siguiente se da una breve explicación de la función específica de cada componente del modelo físico.

4. Modelo tecnológico funcional

Tomando como base las arquitecturas IoT expuestas en el capítulo anterior, se presenta el diseño de un modelo funcional, con la descripción de sus componentes para la implementación y aplicación de pruebas piloto, los cuales incluyen:

- Los dispositivos inteligentes IoT;
- Antena de comunicación de largo alcance y área amplia;
- Servidor central para el procesamiento de flujo de datos;
- Manejador de base de datos para almacenamiento y analítica;
- Interfaz para administración del sistema;
- Aplicación web para despliegue de resultados y toma de decisiones

En la siguiente figura se muestran los componentes del modelo funcional:



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.1 Modelo tecnológico funcional.

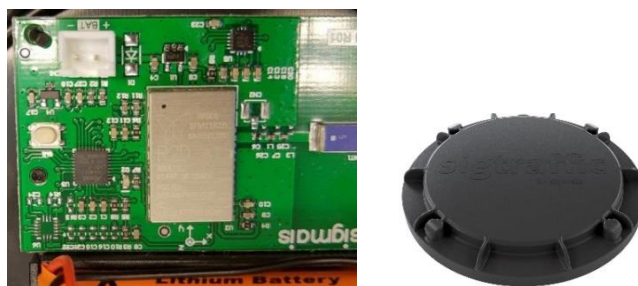
A continuación, se da una breve explicación de los componentes que integran el modelo funcional.

4.1 Dispositivos IoT.

En las pruebas funcionales del modelo se utilizaron para la capa física algunos dispositivos *sigtraffic* del fabricante Sigmais. Estos dispositivos tienen integrados varios sensores: un sensor ferromagnético, un sensor de temperatura y un acelerómetro. La función principal de este dispositivo es realizar el conteo de vehículos en un carril determinado, detectando la variación de su campo magnético a medida que los vehículos pasan encima de éste. De esta forma va acumulando recuentos y transmitiendo esta información en un intervalo de tiempo previamente parametrizado por el administrador.

Por otra parte, como parte de las pruebas funcionales, se utilizó un dispositivo *sigpark*, del fabricante de Sigmais. La función de este dispositivo es detectar la presencia de masa metálica transmitiendo su estado “*vacante u ocupado*” en el momento que hay una ocurrencia.

En la siguiente figura se ilustran los sensores descritos, su forma física y su electrónica:

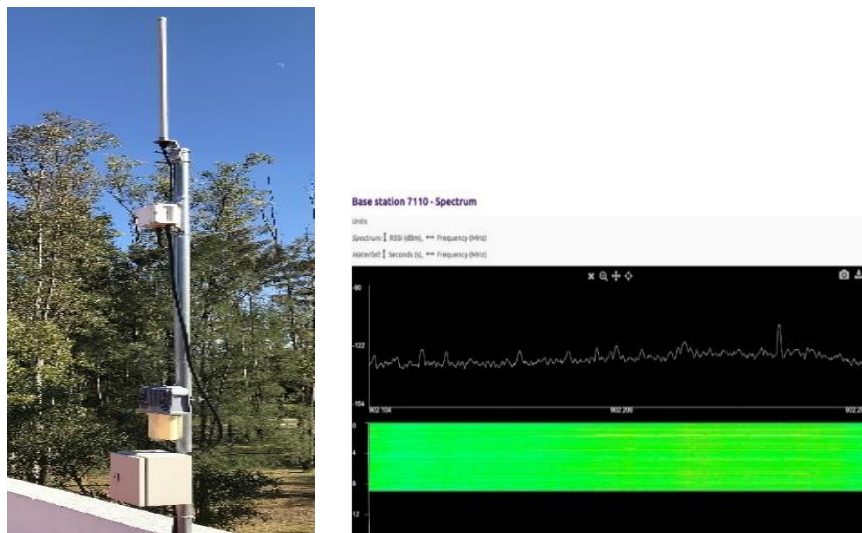


Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.2 Vista física de dispositivo IoT.

4.2 Antena de largo alcance

En el modelo desarrollado se incluyó una antena omnidireccional para la transmisión de la telemetría de los dispositivos IoT: *sigtraffic* y *sigpark*. La antena de la marca **PROCOM - CXL900-3LW**, estación base Sigfox SBT3902 v3.0-1. Esta antena, forma parte de la capa de red en el modelo, tiene características de alta ganancia y cobertura de hasta 20 km., con rango de frecuencia entre 902.104Mhz y 902.292Mhz, y un micro canal de 100Khz.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.3 Antena y gráfica de espectro de frecuencia.

4.3 Servidor principal

El modelo funcional incluyó un servidor que permite la adquisición y procesamiento de los datos provenientes de los sensores. En este servidor también se ejecutan módulos de software que procesan y presentan la información en un tablero de mando para la toma de decisiones. Entre otras funciones, administra dispositivos remotos, almacena la telemetría de los sensores y ofrece soporte para el tablero de mando.

Para lograr la operación del servidor, se instaló el siguiente software:

- Sistema Operativos Windows Server 2012
- Git 2.23.0
- Node.js
- Java jdk-jre 8.171 x64
- Maven 4.0
- Springboot 2.1.2

4.4 Base de datos

En este proyecto se usa un sistema de base de datos principalmente para recopilar, y organizar la información adquirida desde los sensores. La lógica del sistema permitirá realizar analítica de datos, consultas y despliegue de resultados en tablero de mando para la toma de decisiones.

El manejador de la base de datos usados es: **PostgreSQL x64**. Los módulos PGAdmin y PostGIS Bundle 3.0.3 para PostgreSQL.

5. Aplicación de pruebas y resultados

Para la ejecución del ambiente de pruebas piloto se instalaron dispositivos inteligentes, antena de comunicación y un servidor local. Dicha instalación se realizó en el Instituto Mexicano del Transporte (IMT), ubicado en el km. 12+000 de la Carretera Estatal No. 43, "El Colorado-Galindo", San Fandila, Pedro Escobedo, Querétaro (20.4941403,-100.2127544).

Se ilustra en la siguiente figura en los puntos rojos y punto amarillo la localización de cuatro sensores utilizados en la prueba.



Fuente: Google Maps.

Figura 5.1 Instalaciones del Instituto Mexicano del Transporte.

5.1 Instalación de sensores

Se instalaron tres dispositivos para las pruebas funcionales, éstos se colocaron de la siguiente manera: dos dispositivos se instalaron en las calzadas de entrada de las instalaciones del IMT; uno para el carril de visitantes, el otro en el carril de empleados. Así mismo, se instaló un sensor en la salida principal del IMT con la intención de medir el flujo de salida. Los dispositivos al estar encapsulado su instalación física fue sencilla. En la siguiente figura se muestra la apariencia física del dispositivo y su instalación:



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.2 Instalación de dispositivo IoT en el IMT.

5.2 Arranque de pruebas

Para el arranque de las pruebas funcionales se realizó una campaña de información a los usuarios conductores de vehículos que ingresaban a las instalaciones del IMT, esto con la finalidad de dar a conocer detalles de la prueba. Se informó entre otras cosas, el periodo de la prueba, el objetivo general y como participarían en la misma.

En la siguiente figura se muestra a un investigador del equipo de trabajo. Nótese el dispositivo de aforo frente al vehículo.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.3 Campaña de información.

En la siguiente figura se muestra al equipo de investigadores realizando la primera recopilación de datos provenientes de los sensores instalados. Para ello, se utilizaron dispositivos inteligentes conectados a la plataforma.



Fuente: Elaboración propia.

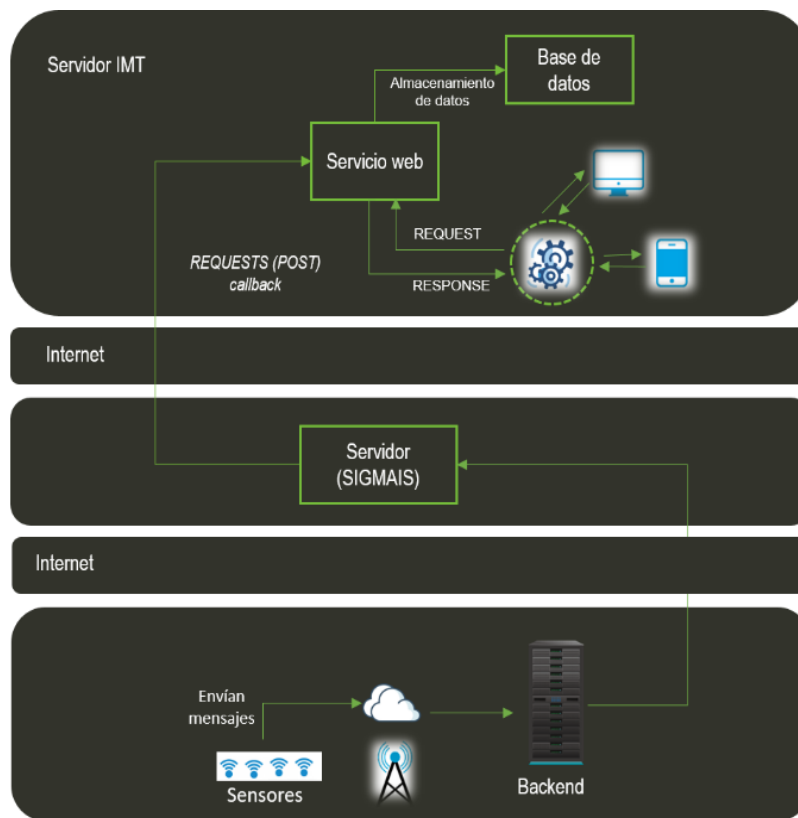
Figura 5.4 Monitoreo de actividad de los sensores en sitio.

5.3 Modelo de procesamiento

Para alcanzar la interoperabilidad entre las aplicaciones presentes en el modelo de procesamiento se utilizó una arquitectura orientada a servicios web, la cual se define como: “*aplicaciones modulares auto contenidas que pueden describir, publicar, localizar e invocar a través de una red*” (IBM, 2021).

Por interoperabilidad se entiende la condición de los sistemas de intercambiar procesos y datos en ambientes heterogéneos. Esta condición se pretende utilizar para llevar a cabo una integración de las diferentes áreas operativas

En la siguiente figura se muestra una representación visual de la interacción entre el proveedor SIGMAIS y el servicio web del IMT. En este último se observa el flujo de datos final para ser representado en una aplicación web.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.5 Arquitectura basada en API REST.

Esta arquitectura hace uso del protocolo *HTTP* (*Hypertext Transfer Protocol*). Proporciona una *API* (*Application Programming Interface*) en donde a través del método *POST*, se envían los datos de los sensores (que viajan desde la aplicación que ofrece el servicio web) hasta el servidor ubicado en el IMT.

El envío de datos al servidor de SIGMAIS se produce cada que los dispositivos o sensores detectan un objeto sobre estos, emitiendo una trama que contiene

información relevante referente al sensor. Esa trama se encuentra disponible a través de una URL lista para ser consumida a través de un “callback” por un servicio web. La siguiente figura muestra la programación del mapeo de las solicitudes previamente definidas en el servicio web, estas son: “VerSensores, Agregar y Borrar”.

```

1 package gov.IMT.SITLog.LogistixLab.API_Sensors.Controller;
2
3 import java.util.List;
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16 @RestController
17 @RequestMapping("/Sensores")
18 public class SensorController {
19     @Autowired
20     private SensorService service;
21
22     @GetMapping("/VerSensores")
23     public List<Sensor> obtenerSensores() {
24         return service.obtenerTodos();
25     }
26     @PostMapping("/Agregar")
27     public String agregarSensor(@RequestBody Sensor sensor) {
28         boolean bandera = service.insertar(sensor);
29         if(bandera)
30             return "Se inserto";
31         else
32             return "Fallo";
33     }
34     @PostMapping("/Borrar")
35     public String borrarSensor(@RequestBody Sensor sensor) {
36         boolean bandera = service.borrar(sensor);
37         if(bandera)
38             return "Se borro";
39         else
40             return "Fallo";
41     }
42 }
43

```

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.6 Mapeo de solicitudes previamente definidas en el servicio web.

Posteriormente, un API lanza una petición en un intervalo de tiempo a dicho servicio bajo la siguiente instrucción, como se muestra en la siguiente figura:

```

fetch('http:DirPublica:Port/Sensores/VerSensores')
  .then(response => response.json())
  .then(data => console.log(data));

```

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.7 Petición en un intervalo de tiempo.

El cual responde con la trama de datos (ver figura 11), listos para ser visualizados en una aplicación web, tal como un panel de datos con representaciones gráficas.

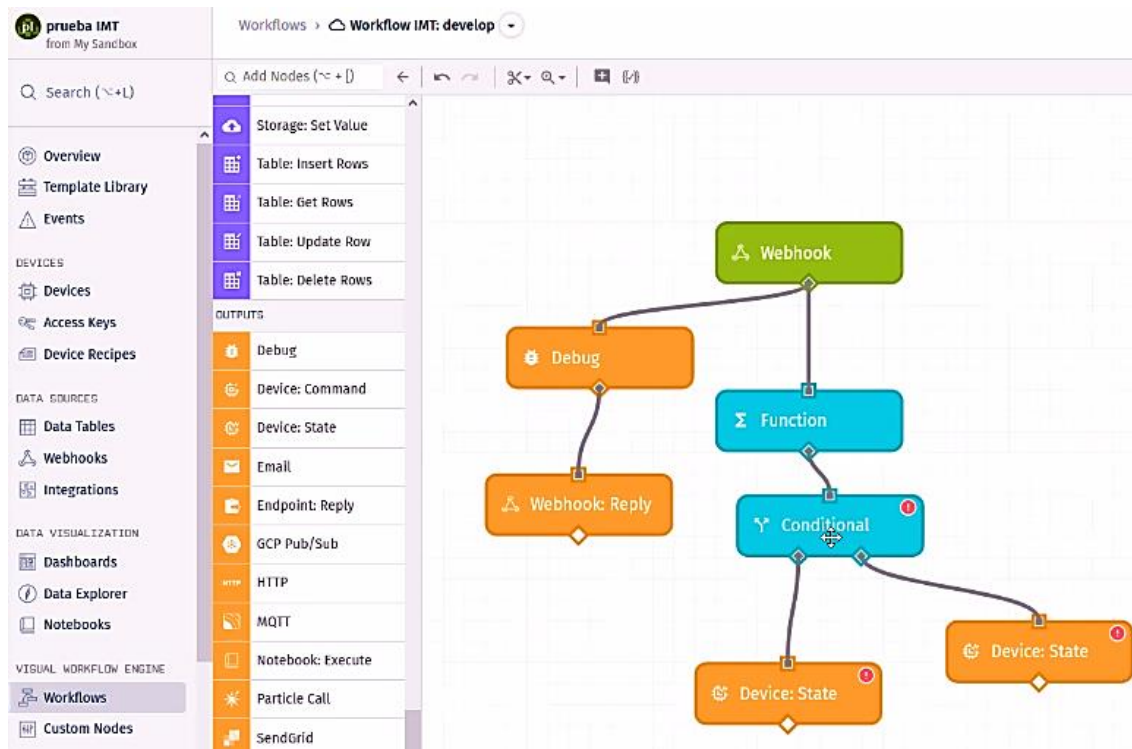
```
[
  {
    "device": "TRFAAA999",
    "date": "2021-08-10T14:30:00.000Z",
    "frame": 0,
    "temperature": 31.5,
    "count": [
      1156,
      1158,
      1566
    ],
    "battery": 3.6,
    "lat": -20.000000,
    "lng": -40.000000
  }
]
```

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.8 Trama para intercambio de mensajes.

5.4 Procesamiento de flujo de datos

Previo a la configuración de los servicios web, se realizaron pruebas sobre el flujo de trabajo de los sensores, esto con la finalidad de conocer el movimiento de flujo de datos de los sensores. Para ello, se utilizó el software “LOSANT” basado en IoT. En la siguiente figura se muestra la configuración y prueba del flujo de trabajo:



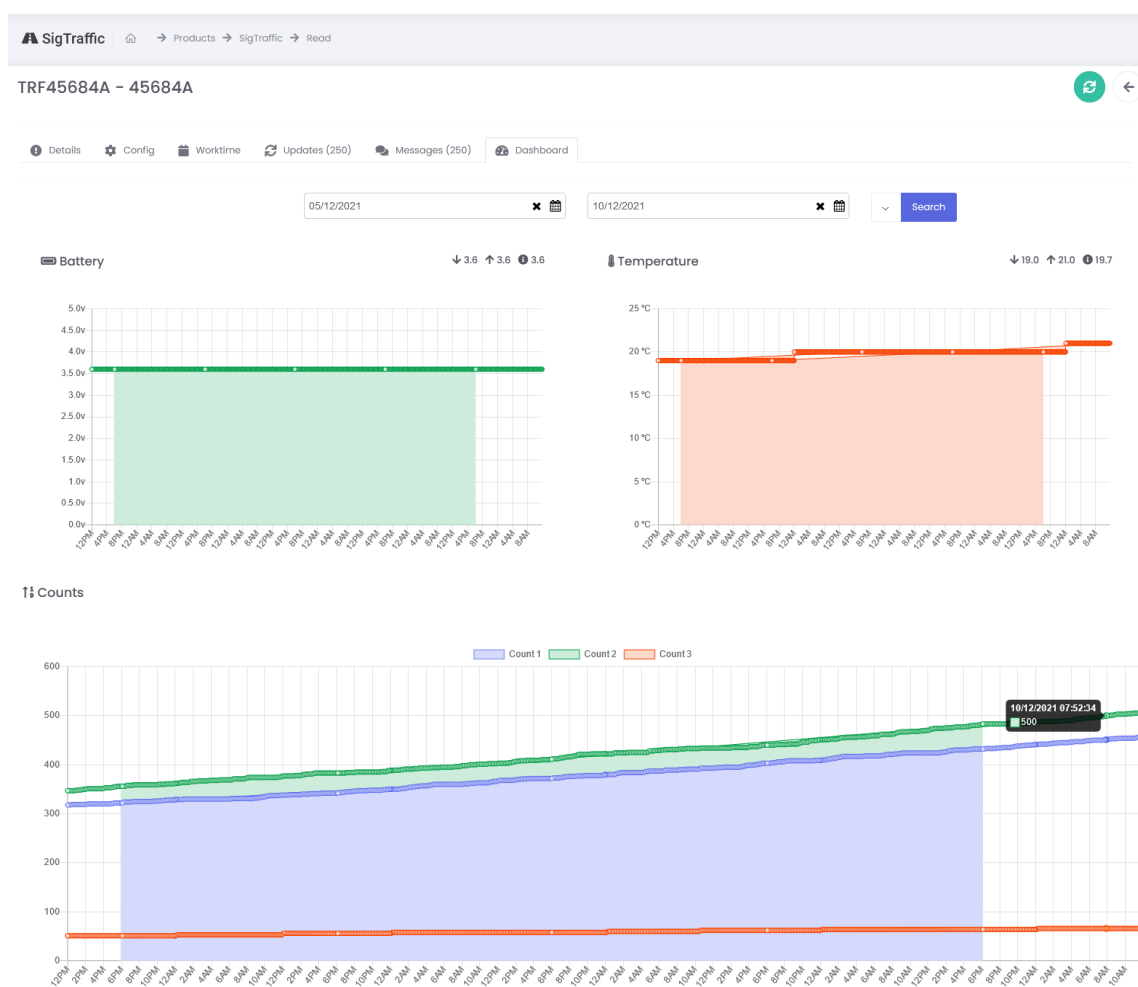
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.9 Flujo de trabajo para prueba de sensores.

5.5 Primeros resultados

Los primeros resultados permitieron lograr la adquisición de los datos generados en sitio por los sensores. El almacenamiento y procesamiento de la información se almacenó de manera informal. En la siguiente figura se muestra una gráfica del panel de control, donde se visualiza la actividad del monitoreo del flujo vehicular. Se muestra el acumulado del flujo de los datos durante el periodo de prueba de julio a agosto 2021.

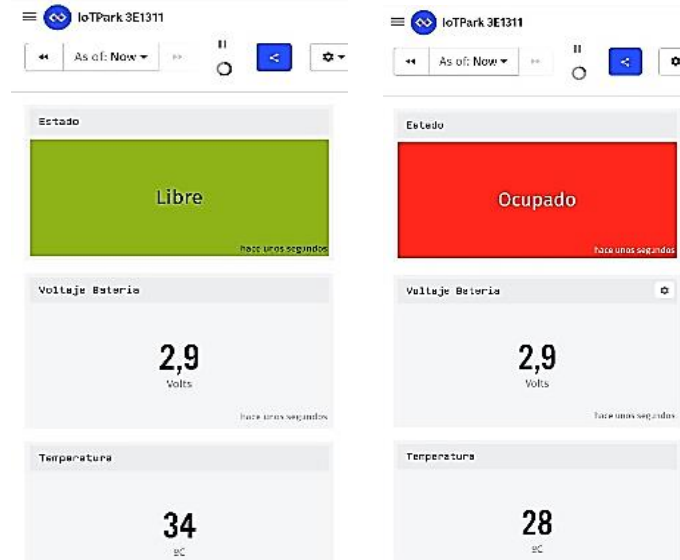
Para hacer posible esta visualización, los sensores de flujo vehicular recaban y envían los datos a una plataforma intermedia, de ahí se lleva a un servidor del IMT para visualizar la información en un tablero de mando. La consulta puede ser configurada para obtener el flujo vehicular por horas, días o meses. En la siguiente figura se muestran las gráficas en un panel de control con vista al usuario.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.10 Gráfica de actividad de sensores *sigtraffic*.

En la siguiente figura se muestra el monitoreo del sensor *sigpark* obtenido mediante la plataforma *LOSANT*. Su operación básica en el panel indica el estado “*libre*” u “*ocupado*”. Es decir, cuando el espacio de estacionamiento está vacío o con la ocupación de un vehículo. Así mismo, obtenemos de la información el nivel de voltaje de la batería y la temperatura en sitio.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.11 Actividad del sensor *sigpark*.

En estos primeros resultados, principalmente, se logró la comunicación de los sensores y se llevó la telemetría hasta un servidor alojado en el centro de datos del IMT. Actualmente se cuenta con una acumulado de la telemetría desde la instalación de los sensores. Con estos primeros resultados se han sentado las bases para el desarrollo de una plataforma de gestión de objetos.

6. Conclusiones

La tecnología del Internet de las Cosas (IoT) definitivamente está cambiando el mundo. Los dispositivos se comunican entre sí, con las personas y nos entregan datos e información continua que, seguramente, transformarán la sociedad. Por otra parte, podemos aseverar que la tecnología IoT está facilitando una nueva dimensión a los negocios tradicionales.

Este trabajo contribuyó con una revisión actual de la tecnología, su aplicación directa al sector transporte y la logística. Por otra parte, se propone un modelo tecnológico basado en IoT que sienta las bases para el desarrollo a futuro de una plataforma para gestión de objetos. Los resultados obtenidos revelan que la arquitectura es una referencia para la construcción de sistemas para la gestión efectiva de bahías de carga y descarga en el área de la logística.

El ambiente de pruebas funcionales implementado a partir de la arquitectura de cuatro capas permitirá la implementación de modelos de análisis, los cuales permitirá obtener información relevante a partir de los datos convencionales.

Como trabajo futuro derivado de la presente investigación, se pretende ampliar la arquitectura propuesta, puntualizando con mayor detalle en los protocolos de comunicación, reglas de implantación, así como un sistema integral de gestión.

Bibliografía

Instituto Federal de Telecomunicaciones [IFT] (2019). Análisis exploratorio de la comercialización de servicios de conectividad para IoT (Internet of Things). Publicación en línea. Recuperado de <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/contenidogeneral/estadisticas/analisisexploratorioiot.pdf> (consultado en mayo 2020).

CEDILLO CAMPOS, M y FRANSOO, J. (2019). Distribución urbana inteligente de mercancías. Revista IC, Julio, Colegio de Ingenieros Civiles de México, México en línea. Recuperado de https://issuu.com/cicm_oficial/docs/ic599-final (consultado en mayo 2021).

GONZÁLEZ García, LÓPEZ Vicario, VILAJOSANA Guillen. (2017). IoT: Dispositivos, tecnologías de transporte y aplicaciones. Universidad Oberta de Catalunya.

Lora Alliance [LORA] (2021). Plataforma de conectividad para aplicaciones de Ciudades Inteligentes. Publicación en línea. Recuperado de <https://lora-alliance.org/> (consultado en marzo 2021).

Raj K. (2017). Internet of Things Architecture and Design Principles. Mc Graw Hill.

SAVY, M. (2016). European Urban Freight: a comprehensive approach. In: Wolmar, C. (Ed.) Urban Freight for Livable Cities. The Volvo Research and Educational Foundations. VREF, Göteborg.

Ahmed N., Hussain I. (2018). Internet of Things (IoT) for Smart Precision Agriculture and Farming in Rural Areas. IEEE Internet of Things Journal, vol. 5, issue 6, 4890-4899.

SIGFOX (2020). Descripción general de la tecnología Sigfox. Publicación en línea. Recuperado de : <https://www.sigfox.com/en/sigfox-iot-technology-overview> (consultado mayo, 2020).

LORA (2020). ¿Qué es LoRa?". Publicación en línea. Recuperado de: <https://www.semtech.com/lora/what-is-lora> (consultado en mayo 2020).

TOM TOM TRAFFIC INDEX (2020). Información relacionada al índice de niveles de congestión de tránsito en más de 400 ciudades en todo el mundo. Publicación en línea. Recuperado de https://www.tomtom.com/en_gb/traffic-index/ (consultado en junio 2020).

DAKE Liu, HUI Xu, SHANZHI Chen, (2014). A Vision of IoT: Applications, challenges, and opportunities with China perspective.

ALANDÍ P. (2016). Tesina de fin de master. Estudio de Internet de las Cosas, en las redes logísticas de la cadena de suministro. Universidad Politécnica de Valencia.

UN Habitat (2020). Reporte anual de las Naciones Unidas, programa de asentamientos humanos: Por un mejor futuro urbano.

SANCHEZ Ramos, I. (2017). Las “Smart Cities”: un nuevo paradigma. Aspectos éticos.

Bil H., HUGH B., Cunningham J., Tim W., (2018). The industrial internet of things (IIOT): An analysis framework. Computer Industry.

ADITA Gaur, BRYAN Scotney, GERARD Parr, SALLY McClean, (2015). Smart City architecture and its applications based IoT. Science Direct.

GARTNER RESEARCH (2018). Informe de seguridad IoT 2018. Publicación en línea. Recuperado de <https://www.gartner.com/en/documents/3855285/2018-iiot-security-survey-report0> (consultado en diciembre 2020).

IKUSI (2021). Seguridad en IoT: ¿Qué es, cuáles son los riesgos y cómo minimizarlos?. Publicación en línea. Recuperado de <https://www.ikusi.com/es/blog/seguridad-en-iiot/> (consultado en enero 2021).

RTINSIGHTS (2021). Recurso web independiente y dirigido por expertos que arroja luz sobre el impacto empresarial de la analítica en tiempo real y el Internet de las cosas. Publicación en línea. Recuperado de <https://www.rtinsights.com/iiot-creates-buzz-but-iiot-as-a-service-creates-a-path/> (consultado octubre 2021).

K. Ashton. (2002). That “Internet of Things” Things. RFID Journal, 4986



COMUNICACIONES

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES



Km 12+000 Carretera Estatal 431 “El Colorado Galindo”
Parque Tecnológico San Fandila, Mpio. Pedro Escobedo,
Querétaro, México. C.P. 76703
Tel: +52 (442) 216 97 77 ext. 2610
Fax: +52 (442) 216 9671

publicaciones@imt.mx

<http://www.imt.mx/>