



upsala
Conciencia Tecnológica
ISSN: 1405-5597
ISSN:
contec@mail.ita.mx
Instituto Tecnológico de Aguascalientes
México

Implementación de infraestructura de conectividad como soporte para la integración de Sistemas IoT en el Instituto Tecnológico El Llano (ITEL)

Campos-Torres, José de Jesús
Ramos-Dávila, Mauricio
Montañez-de la Torre, Juan Alejandro
López-Salas, Iraam Antonio
Vázquez-Gutiérrez, Marco Antonio

Implementación de infraestructura de conectividad como soporte para la integración de Sistemas IoT en el Instituto Tecnológico El Llano (ITEL)

Conciencia Tecnológica, núm. 64, 2022
Instituto Tecnológico de Aguascalientes

Disponible en: <https://127.0.0.1:8080/articulo.oa?id=94474222001>

Implementación de infraestructura de conectividad como soporte para la integración de Sistemas IoT en el Instituto Tecnológico El Llano (ITEL)

Implementation of connectivity infrastructure as support for the integration of IoT Systems at the El Llano Technological Institute (ITEL)

José de Jesús Campos-Torres¹
Tecnológico Nacional de México, México
jose.ct@llano.tecnm.mx

Mauricio Ramos-Dávila¹
Tecnológico Nacional de México, México
mauricio.rd@llano.tecnm.mx

Juan Alejandro Montañez-de la Torre¹
Tecnológico Nacional de México, México
alejandro.mt@llano.tecnm.mx

Iraam Antonio López-Salas²
Tecnológico Nacional de México, México
iraam.lopez@gmail.com

Marco Antonio Vázquez-Gutiérrez¹
Tecnológico Nacional de México, México
marco.vg@llano.tecnm.mx

Recepción: 06 Mayo 2022
Aprobación: 01 Septiembre 2022



Acceso abierto diamante

Resumen

Se implementa una plataforma tecnológica de conectividad IoT (Internet Of Things) que permite integrar los sistemas y los sistemas de sistemas que se generen a futuro en el Instituto Tecnológico El Llano (ITEL), para atender las áreas de agricultura, ganadería y seguridad. Esto con la finalidad de coadyuvar en las investigaciones que impacten en el desarrollo de la institución, de su capital humano, de los alumnos, y de la región. Se presenta el análisis propuesta e implementación de tres Gateways IoT con soporte multi protocolo, los cuales mediante conectividad LoRaWAN dan cobertura a toda la extensión del tecnológico, a sus

Notas de autor

- 1 ecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico El Llano Aguascalientes, Departamento de Sistemas y Computación. Carretera Aguascalientes -San Luis Potosí k.m.18 S/N El Llano, Ags. México. C.P. 20330
Tel. (449) 962-11-00.
- 1 Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico El Llano Aguascalientes, Departamento de Sistemas y Computación. Carretera Aguascalientes -San Luis Potosí k.m.18 S/N El Llano, Ags. México. C.P. 20330
Tel. (449) 962-11-00.
- 1 Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico El Llano Aguascalientes, Departamento de Sistemas y Computación. Carretera Aguascalientes -San Luis Potosí k.m.18 S/N El Llano, Ags. México. C.P. 20330
Tel. (449) 962-11-00.
- 2 Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Aguascalientes, Departamento de Ingeniería Electrónica. Ave. Adolfo López Mateos núm. 1801, Ote., Fracc. Bona Gens, C.P. 20256, Aguascalientes, Ags., México. +52 449 9105002, ext. 106
- 1 Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico El Llano Aguascalientes, Departamento de Sistemas y Computación. Carretera Aguascalientes -San Luis Potosí k.m.18 S/N El Llano, Ags. México. C.P. 20330
Tel. (449) 962-11-00.

áreas productivas y perímetro. Estos Gateways brindan la posibilidad de integrar sistemas de monitoreo agropecuario y seguridad para la institución. Se generan mapas de calor que muestran la cobertura de la señal LoRaWAN, logrando niveles de intensidad de señal RSSI entre -68 y -114 dBm, utilizando factor de dispersión 7, esto para los puntos más cercanos y más lejanos a los Gateways respectivamente. Este proyecto se desarrolló con el financiamiento obtenido por parte del IDSCEA (Instituto Para el Desarrollo de la Sociedad del Conocimiento del Estado de Aguascalientes).

Palabras clave: Gateway IoT, LoRaWAN, RSSI, SNR, Heat Map.

Abstract

A technological platform for IoT (Internet Of Things) connectivity that allows the integration of systems and systems of systems that will be generated in the future at the El Llano Technological Institute (ITEL) is implemented, to serve the areas of agriculture, livestock and security. This in order to assist in research that impacts the development of the institution, its human capital, students, and the region. The proposed analysis and implementation of three IoT Gateways with multi-protocol support is presented, which through LoRaWAN connectivity cover the entire extension of the campus, its productive areas and perimeter. These Gateways offer the possibility of integrating agricultural monitoring systems and security for the institution. Heat maps are generated showing the coverage of the LoRaWAN signal, achieving RSSI signal intensity levels between -68 and -114 dBm, using dispersion factor 7, this for the closest and furthest points to the Gateways respectively. This project was developed with funding obtained from the IDSCEA (Institute for the Development of the Knowledge Society of Aguascalientes City).

Keywords: Gateway IoT, LoRaWAN, RSSI, SNR, Heat Map.

El Acuerdo Nacional Para la Autosuficiencia Alimentaria establece como una de las 25 prioridades sexenales del Gobierno Federal el logro de dicha autosuficiencia y en consecuencia el rescate del campo. Esto es imposible de lograr sin una fuerte inversión en tecnología, no solamente de producción, sino en toda aquella que permita conocer las condiciones de los procesos agropecuarios y anticiparse a los problemas que pueden afectar a dichos procesos. Es en este punto en donde el IoT entra en escena para coadyuvar en la mejora de los procesos, brindando la conectividad requerida para las cosas, es decir, que se integren los sensores necesarios, y que se recolecten los datos que permitan analizar situaciones y generar conocimiento útil para la toma de decisiones. Posibilitando con lo anterior a los investigadores para desarrollar mejores procesos de producción agrícola y pecuaria, sustentados por el análisis de la información, haciendo uso de la tecnología y considerando además aplicaciones como la seguridad perimetral para la protección de los activos del Instituto Tecnológico El Llano (ITEL). Se resaltan las siguientes áreas de oportunidad:

- Implementar distintos puntos de conectividad IoT en la institución.
- Implementar una plataforma de conectividad IoT para dispositivos de bajo costo y bajo consumo eléctrico, con la finalidad de conectar cosas.
- Implementar una plataforma de conectividad IoT para tener la posibilidad de integrar sistemas de monitoreo agropecuario, seguridad y otras aplicaciones relevantes para la investigación dentro de la institución.
- Efectuar pruebas de conectividad y estabilidad con línea de vista simple para cada punto de conexión.
- Implementar una plataforma tecnológica que permita realizar las prácticas de la especialidad de IoT para el desarrollo del potencial de los docentes y alumnos del área tecnológica.
- Implementar tecnología de vanguardia que coadyuve para que el tecnológico sea punta de lanza en las investigaciones que impacten en el desarrollo regional las áreas agropecuarias, y de seguridad, entre otras aplicaciones.
- Implementar un protocolo de conectividad que permita un mayor alcance para conectar las cosas a un costo menor que los protocolos de conectividad convencionales.

Fundamentos teóricos

El Internet de las cosas (Internet of Things, IoT) tiene su origen en el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT) y, más concretamente, en el trabajo que se realiza en el Auto-ID Center. Este grupo, fundado en 1999, trabajaba en el campo de la identificación por radiofrecuencia (RFID) en red y en el de las nuevas tecnologías de detección por sensores [1].

[2] Menciona que, si bien la idea de IoT existe desde hace mucho tiempo, una colección de avances recientes en una serie de tecnologías diferentes la ha hecho práctica:

- Sensores de bajo coste y baja potencia.
- Conectividad.
- Plataformas informáticas en la nube.
- Machine learning y analítica.
- Inteligencia artificial (IA) conversacional.

Hoy en día vivimos en un mundo donde hay más dispositivos conectados a la IoT que seres humanos, [3] menciona que para el 2025 se estiman 38.6 billones de dispositivos conectados alrededor del mundo. Estos dispositivos y máquinas conectados a IoT van desde artefactos de vestir como relojes inteligentes hasta chips RFID para control de inventario. Los dispositivos conectados a la IoT se comunican a través de redes o plataformas basadas en la nube conectadas a Internet de las cosas. Los *insights* en tiempo real que se obtienen de estos datos recolectados de la IoT alimentan la transformación digital [4].

Arquitectura general de soluciones IoT

La arquitectura general que constituye a una solución IoT está integrada por distintos elementos, de los cuales se destacan:

- Energía.
- Estándares y protocolos de comunicación.
- Conectividad de red WAN.
- Conectividad de red Local.
- Gateways.
- Cosas conectadas, mediante dispositivos y sensores (Things).
- Plataformas IoT las cuales pueden brindar la posibilidad de:
 - Gestionar dispositivos IoT.
 - Normalizar y pre-procesar los datos recibidos.
 - Vinculación de datos.
 - Análisis de datos.

Lo anterior se puede visualizar para su mejor comprensión en la Figura 1.



Figura 1.
Arquitectura general de soluciones IoT.
Fuente: [5]

En la actualidad, el IoT se compone de un conjunto disperso de redes dispares diseñadas a medida. Los vehículos de hoy en día, por ejemplo, cuentan con diversas redes para controlar el funcionamiento del motor, las funciones de seguridad, los sistemas de comunicaciones, etc. Los edificios comerciales y residenciales también tienen varios sistemas de control para la calefacción, la ventilación y el aire acondicionado (HVAC); el servicio telefónico; la seguridad, y la iluminación. A medida que evoluciona el IoT, estas redes y muchas otras, se conectarán y contarán con mayores funciones de seguridad, análisis y gestión. Esto permitirá que el IoT pueda contribuir más y mejor a que las personas consigan sus objetivos [1].

Ecosistema IoT

Es fundamental conocer como se integra el ecosistema IoT a fin de planear adecuadamente la integración de la solución propuesta, tal como lo indica [6]. Ver Figura 2.

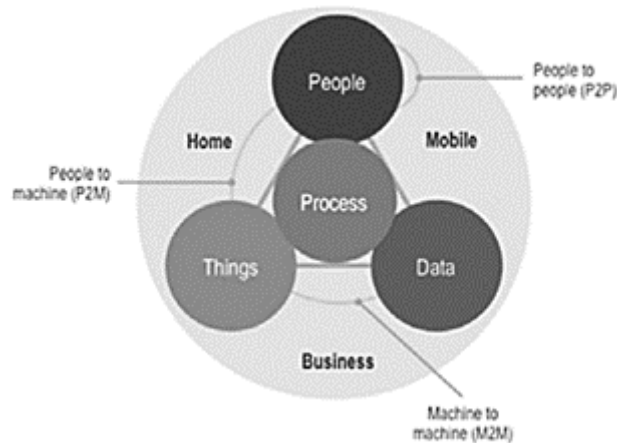


Figura 2.

Ecosistema IoT propuesto por Cisco, considerando la importancia del impacto a las personas.

Fuente: [6].

[5] Identifica algunos sectores pioneros para aplicaciones IoT, sin embargo, en este caso particular, la implementación de la infraestructura de conectividad IoT se enfoca a la Agricultura 4.0, la cual [7] destaca como uno de los sectores más importantes que se ha desarrollado en los últimos años, siendo un referente en el cambio tecnológico.

[8] Señala distintos tipos de tecnologías que permiten la conectividad para IoT de entre las cuales se elige LoRaWAN. Lo anterior por que implica el uso de LPWAN que representa una clara evolución de las redes de comunicación orientadas hacia los dispositivos IoT [9]. El alcance superior y el bajo consumo eléctrico son características esenciales para lograr los objetivos planteados al inicio en del proyecto, es por ello, que con base en el análisis realizado por [9] a los tres principales competidores IoT, se identifican las ventajas de utilizar LoRaWan sobre otras tecnologías, dadas las condiciones del escenario de implementación. Para facilitar la comprensión de dicho análisis se muestra la Figura 3.



Figura 3.

Ventajas respectivas de Sigfox, LoRa, y NB-IoT en términos de factores IoT.

Fuente: [9].

[10] Describe a detalle la especificación LoRaWAN.®, misma que es utilizada para la conectividad entre el nodo de prueba y los gateways en el presente proyecto. Ver Figura 4.

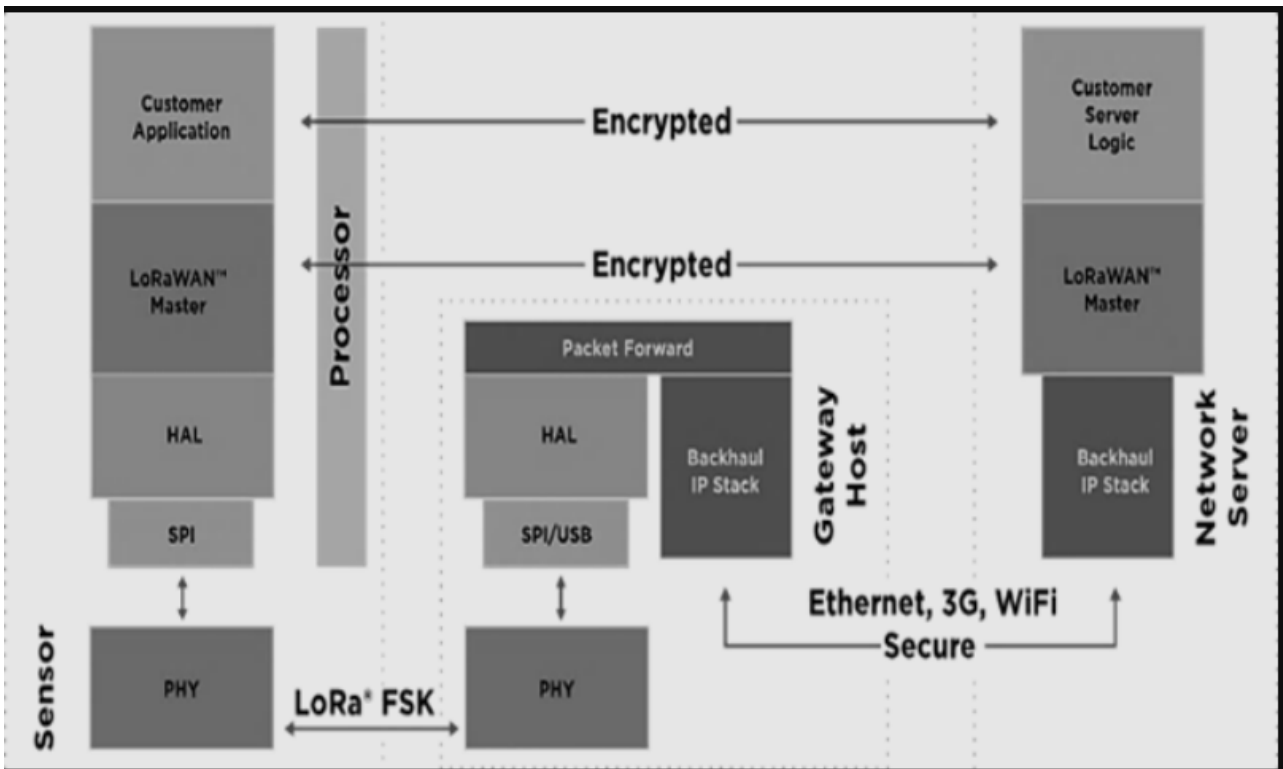


Figura 4.
Especificación LoRaWAN.
Fuente: [10]

LoRa es la tecnología base para IoT, la cual opera en la capa física de la pila de protocolos para la comunicación de datos inalámbrica digital, y si bien puede operar por sí misma para una solución de nube privada (Niebla o *Fog*), se integra con LoRaWAN, dada la necesidad del ITEL de contar con una infraestructura que soporte la conectividad de las cosas hacia la nube pública (*Cloud*). LoRa es explicado ampliamente por [11]. Ver Figura 5.

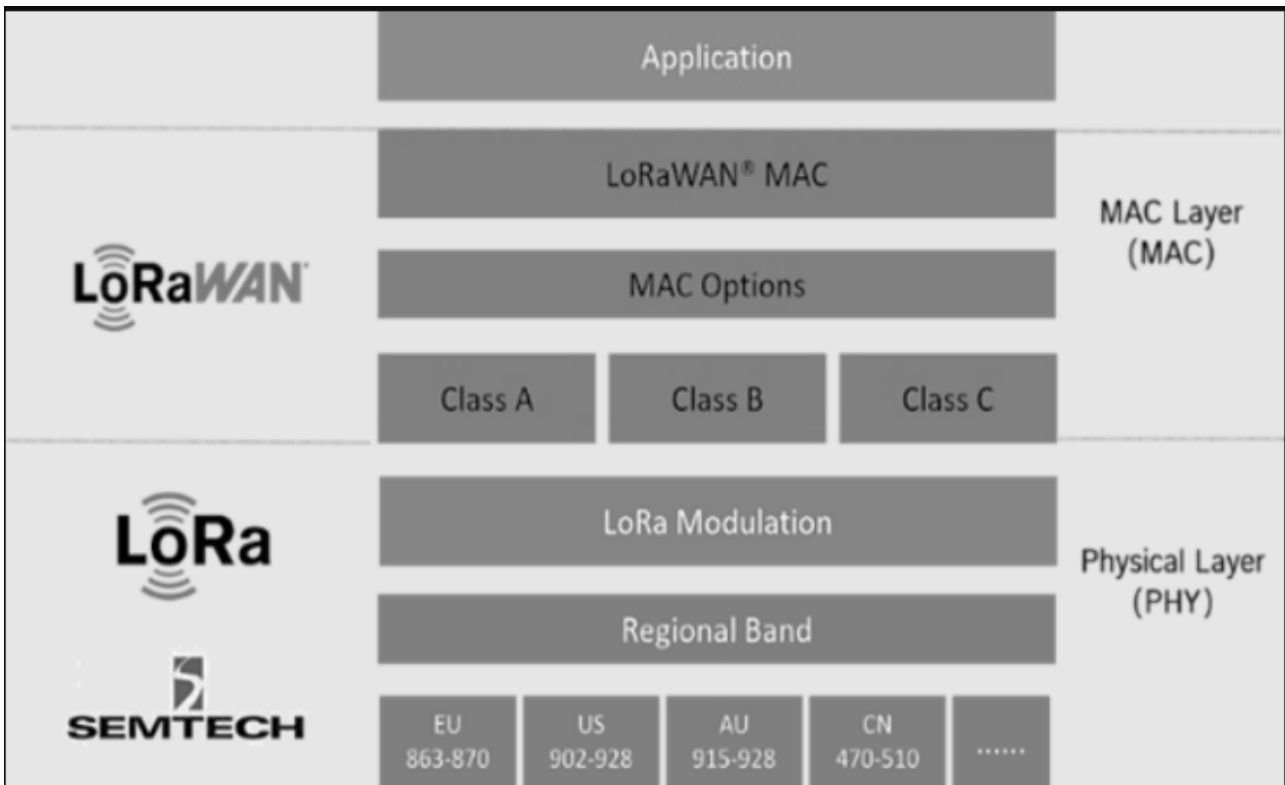


Figura 5.
Pila de protocolos Lora.
 Fuente: [11].

Para la propagación de la *Fog* en el ITEL se utiliza Spread Spectrum Modulation (SSM) la cual es abordada por [12]. Con respecto a la *Cloud*, las bandas de frecuencia disponibles para LoRaWAN dependen de la región del mundo en donde sean utilizadas, siendo la banda de 902 a 928Mhz la indicada para la transmisión de datos, debido a la zona regulatoria en la que se ubica el Tecnológico.

La Figura 6. Muestra algunas de las bandas de frecuencias utilizadas para LoRaWAN en distintas regiones del mundo.

	Europe	North America	China	Korea	Japan	India
Frequency band	867-869MHz	902-928MHz	470-510MHz	920-925MHz	920-925MHz	865-867MHz
Channels	10	64 + 8 +8	In definition by Technical Committee	In definition by Technical Committee	In definition by Technical Committee	In definition by Technical Committee
Channel BW Up	125/250kHz	125/500kHz				
Channel BW Dn	125kHz	500kHz				
TX Power Up	+14dBm	+20dBm typ (+30dBm allowed)				
TX Power Dn	+14dBm	+27dBm				
SF Up	7-12	7-10				
Data rate	250bps- 50kbps	980bps-21.9kpbs				
Link Budget Up	155dB	154dB				
Link Budget Dn	155dB	157dB				

Figura 6.
Bandas de frecuencia LoRaWAN.
Fuente: [13]

Los elementos de una red LoRa utilizados para la solución propuesta son enlistados por [14]. El factor de dispersión seleccionado para satisfacer las necesidades de cobertura de la *Fog* hasta el perímetro del ITEL, es SF7, debido a su menor consumo eléctrico y en función de la visibilidad, los obstáculos y las interferencias. Una descripción detallada de los distintos factores de dispersión y sus características asociadas es realizada por [15]. [16] identifica las secciones que conforman el formato de los paquetes LoRaWAN utilizados en la transmisión desde el nodo de prueba.

Seguridad LoRaWAN

La seguridad es un punto esencial para considerar al momento de implementar masivamente cualquier tipo de conectividad para IoT. El esquema de seguridad LoRaWAN es descrito por [10].

El sistema de autenticación elegido para la conexión desde el nodo de pruebas hasta la plataforma *Cloud* seleccionada para el proyecto es OTAA. [17] realiza un análisis sobre el por qué es mejor la autenticación OTAA en comparación con ABP, haciendo hincapié en sus características de dirección dinámica para dispositivos.

Gateways para IoT

[18] Describe los principios de implementación de los Gateways para IoT. Por su parte [19] indica la ubicación física de estos últimos en una solución de conectividad para Internet de las cosas. Los tres Gateways implementados en la solución propuesta siguen las recomendaciones antes mencionadas. Adicionalmente, se consideran los factores analizados por [9] para la selección de tecnología en la implementación de LPWAN. Ver Figura 7.

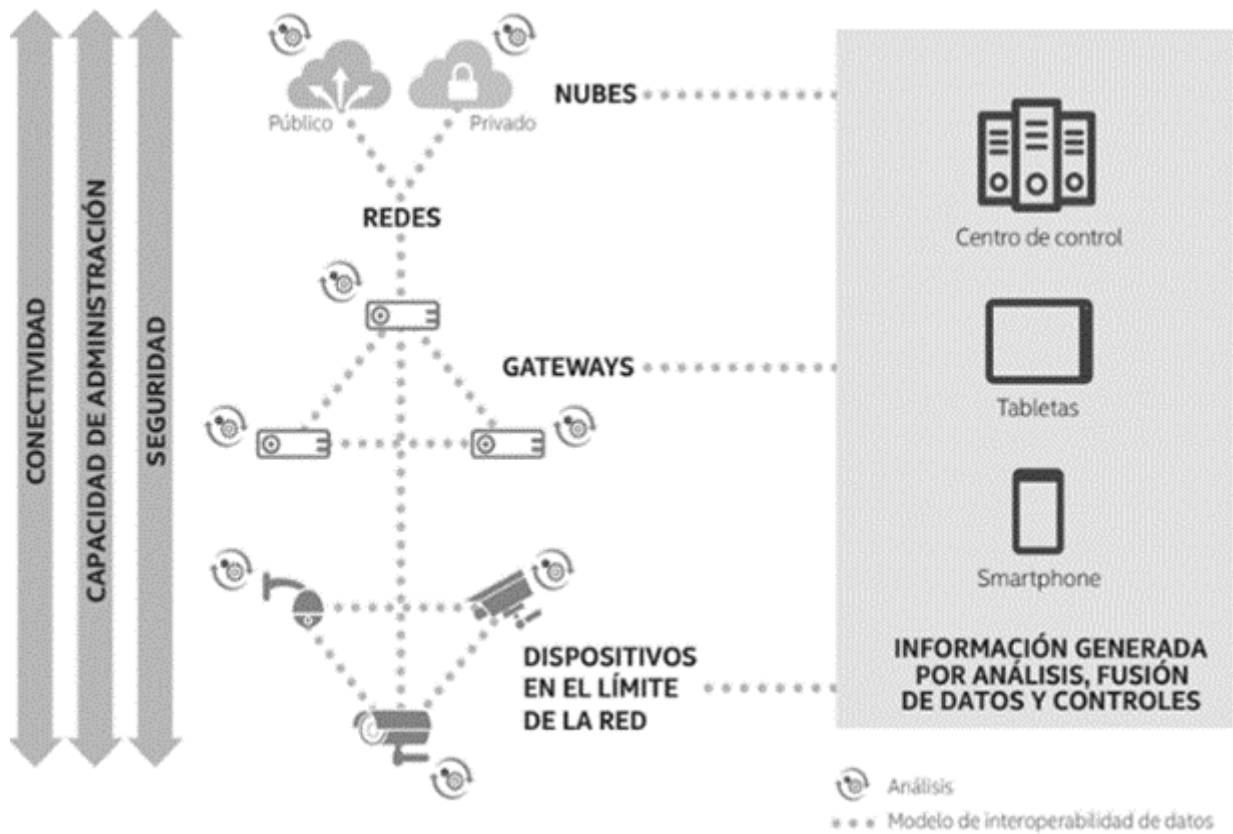


Figura 7.
Ubicación del Gateway dentro de una solución IoT.
Fuente: [20].

Antenas

Las características más importantes para considerar al momento de elegir una antena específica son mencionadas por [20]. Atendiendo la necesidad de patrón de radiación, la ganancia, la directividad y la polarización requeridas para la propagación de la señal LoRaWAN en el ITEL, se han elegido antenas omnidireccionales para exteriores que operan en la banda 902-928Mhz con una ganancia nominal de 3dBd, la cual es suficiente para la cobertura de acuerdo al objetivo planteado.

La Figura 8 muestra el ejemplo de patrón de radiación para una antena omnidireccional.

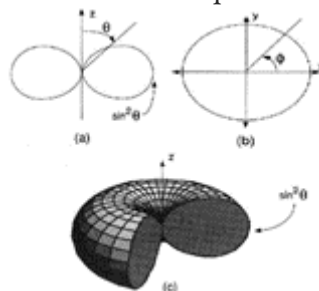


Figura 8.
Patrón de radiación para una antena omnidireccional. (a) Elevación de un dipolo genérico, (b) Patrón de azimuth de un dipolo genérico (c) Patrón de radiación 3D.
Fuente: [20].

Nodos para IoT

Los nodos en IoT son elementos esenciales desde los cuales se recolectan los datos sobre las cosas. Se elige para este escenario, un nodo de prueba que contiene un chip inalámbrico integrado para red de gran

alcance y de baja potencia, mismo que admite el protocolo LoRaWAN e incluye un transceptor inalámbrico de amplio espectro de ultra largo alcance SX1276 fabricado por Semtech. El nodo permite obtener la información sobre la estabilidad y alcance de la señal, así como el envío y almacenamiento de los datos. En la Figura 9 se aprecian un par de modelos de chip Semtech para aplicación en equipamiento LoRa Core y Lora Edge.



Figura 9.
Ejemplo de modelos del chip Semtech para aplicación LoRa Edge y LoRa Core.
Fuente: [21].

La codificación de la información que se envía desde el nodo de pruebas hacia la *Cloud* se realiza mediante Chirp Spread Spectrum (CSS), el cual es explicado a profundidad por [16].

RSSI

Para poder lograr la estabilidad y el alcance deseados para la transmisión de la señal de acuerdo las necesidades de cobertura de la *Fog* en el ITEL, el rango de valores RSSI obtenidos desde el nodo de prueba hacia el Gateway debe estar entre -30dBm y -120dBm de acuerdo a lo señalado por [16].

SNR

Los valores típicos de la relación señal-ruido deben estar entre -20dB y +10dB [16], la obtención de dichos valores desde el nodo de prueba permite complementar la información sobre la calidad de la señal transmitida y la afectación del ruido no deseado en la *Fog*. [22] Recomienda ajustar la colocación del punto de acceso para evitar los obstáculos físicos, o bien ajustar el recuento de clientes de la red.

Protocolos M2M para IoT

Las reglas de comunicación para los dispositivos y aplicaciones para IoT, se definen por los protocolos de comunicación M2M, de entre los cuales se utiliza MQTT por ser el estándar para la mensajería IoT y el más apropiado para dispositivos de baja potencia, tales como el nodo de pruebas utilizado. Este protocolo es explicado por [23], así como el resto de las opciones disponibles.

Plataformas IoT

Para enviar los datos a la *Cloud* se elige The Thing Stack debido a las opciones de integración con las que cuenta, entre las cuales se encuentra el soporte para fungir como bróker MQTT. [24] Describe las características generales de las plataformas IoT y menciona las más populares para *Cloud computing*.

Materiales y métodos

Con base en la revisión de literatura, se definió y cumplió un cronograma con la secuencia de actividades a ejecutar para la aplicación de la tecnología expuesta. Las tareas completadas fueron las siguientes:

1. Se realiza un análisis de la infraestructura existente en el escenario.
2. Se adquieren los Gateways IoT a implementar en el escenario.
3. Se obtienen las coordenadas de las ubicaciones donde se instalaron los Gateways.
4. Se obtiene el direccionamiento IP con acceso a Internet que se asignará a cada Gateway.
5. Se agregan los Gateways IoT a la plataforma cloud seleccionada (The Things Stack).
6. Se configuran e instalan todos los Gateways en las distintas ubicaciones predefinidas.
7. Se configura el nodo de pruebas que envía los datos a través de los Gateways IoT.
8. Se configura la integración de un cliente para recepción de los paquetes enviados por los nodos.
9. Se realizan pruebas conectividad y estabilidad con línea de vista simple para cada punto de conexión con distintos sensores.
10. Se documentan los resultados de las pruebas realizadas.

Como referencia importante se mencionan cuales elementos que integran el proyecto ya existían, pero que mediante las conexiones y la configuración adecuada, lograron la integración que se requiere para alcanzar los resultados esperados.

La infraestructura existente en los puntos de conexión es la siguiente:

- 1 Switch Cisco Catalyst 4500E series (capa 3) ubicado en el SITE de la Unidad Multifuncional.
- 3 Switches Cisco Catalyst 2960-x series (capa 3) ubicados en los puntos de conexión en donde se instalaron los Gateways IoT.
- Conectividad mediante fibra óptica mono modo 12h 9/125 micras como medio de conexión entre equipo activo arriba mencionado. Desde cada punto de conexión IoT hasta el Core de la red para permitir la salida a internet a los Gateways.
- Firewall PFSense como Gateway de acceso a Internet.
- 1 Enlace dedicado de internet a 300Mbps suministrado por fibra óptica de Axtel.
- 3 Torres estructurales TZ45 con estabilizador ubicadas en los puntos de conexión:
 - Laboratorio de Cómputo I.
 - Biblioteca.
 - Zona de Aulas A.

Puntos de instalación de los Gateways IoT

La Figura 10 muestra los puntos de instalación de los Gateways IoT en el Instituto Tecnológico El Llano.



Figura 10.
Puntos de instalación de los Gateways IoT en el Instituto Tecnológico El Llano.

Acciones realizadas e infraestructura utilizada

De acuerdo al análisis del escenario y a la descripción de la infraestructura existente, se planificó la integración de los puntos de conectividad IoT, de los cuales una vez conectados a la red local permitieron efectuar pruebas de alcance con línea de vista simple, estabilidad y envío de tráfico con algunos sensores, lo cual posibilitó conocer la cobertura y funcionalidad de la solución.

Equipamiento adquirido para la solución de conectividad IoT

Con base en el análisis de las distintas opciones de fabricantes de soluciones para Gateways IoT disponibles en el mercado, se ajustó el equipamiento a las posibilidades del recurso que se otorgó por parte del IDSCEA para la realización de este proyecto, maximizando la relación costo-beneficio. Ver Tabla 1.

Coordenadas, ubicación y direccionamiento IP de los puntos de conexión IoT a instalar

Las coordenadas de los puntos implicados en el proyecto se muestran en la Tabla 2.

Tabla 1.
Equipamiento adquirido para la solución de conectividad IoT.

CANT.	DESCRIPCION
1	Estación base LoRaWAN: Marca "RAKWireless" Modelo: WisGate Edge Max - RAK7249 (2pc LoRa Antenna, 1pc LTE Antenna, 1pc GPS Antenna, 1 pc 2.4g <i>WiFi</i> antenna, 1 Set Enclosure)
2	Antena omnidireccional de largo alcance para LoRa (Frecuencia 915 MHz, 3dBi, Omnidireccional, Para uso en exteriores con accesorios para sujeción en torre)
3	Cable Coaxial 20 metros para aplicaciones de radiofrecuencia LMR400 (Terminales de conexión tipo N conectadas, Impedancia 50 Ohms, Baja pérdida de señal)

Tabla 2.
Coordenadas de ubicación y direccionamiento IP de los puntos de instalación de los Gateways IoT.

ID	PUNTO	IP	LAT	LON	ALT
Gw1	Labcom 1	10.1.1.1/24, Default Gateway: 10.1.1.200	21°49'4.16"N	102° 6'0.25"O	2009M
Gw2	Biblioteca	10.1.1.2/24, Default Gateway: 10.1.1.200	21°49'7.39"N	102° 6'0.63"O	2008M
Gw3	Aulas A	10.1.1.3/24, Default Gateway: 10.1.1.200	21°49'6.35"N	102° 5'58.68"O	2009M

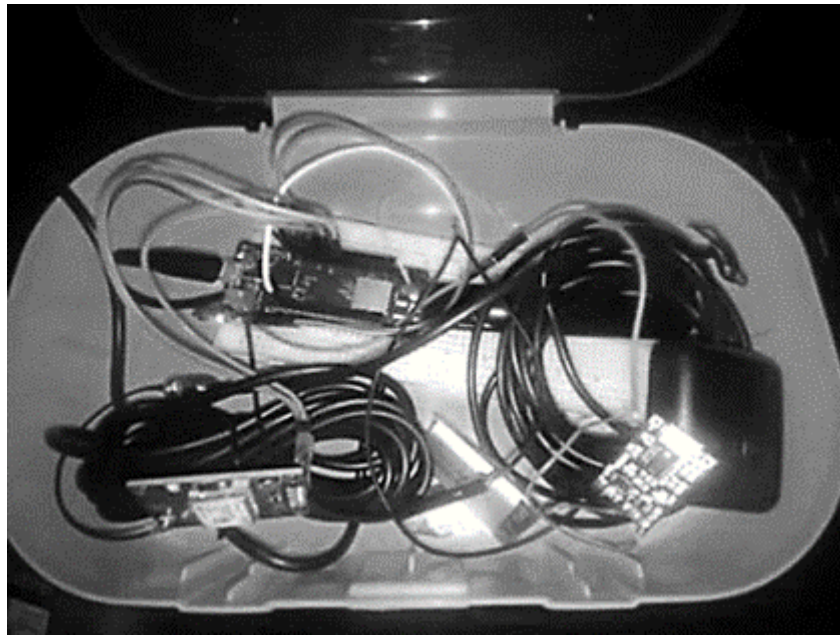


Figura 13.

Nodo de prueba para enviar datos de sensores mediante LoRaWAN hacia los Gateways registrados en The Things Stack.

Al igual que los Gateways los nodos deben ser agregados a la plataforma *Cloud* a fin de generar la aplicación que posibilita la recolección de datos desde los mismos. De igual forma, el nodo se programa para conectarse y enviar datos a la aplicación en la nube, esto con las credenciales generadas en la plataforma para una comunicación segura vía OTAA. De esta forma le es posible enviar los datos obtenidos por los sensores así como la información referente a RSSI y SNR como raw data hacia The Thing Stack. Ver Figura 14.

		Overview	Live data	Messaging	Location	Payload formatters	Claiming	Gen
Time	Type	Data preview						
↑ 05:27:04	Forward uplink data message	Payload: { lati: "21.8566589355", longi: "-102.2683868408", val						
↑ 05:26:57	Forward uplink data message	Payload: { lati: "21.8566589355", longi: "-102.2683868408", val						
↑ 05:26:51	Forward uplink data message	Payload: { lati: "21.8566589355", longi: "-102.2683868408", val						
↑ 05:26:45	Forward uplink data message	Payload: { lati: "21.8566589355", longi: "-102.2683868408", val						
↑ 05:26:38	Forward uplink data message	Payload: { lati: "21.8566589355", longi: "-102.2683868408", val						
↑ 05:26:32	Forward uplink data message	Payload: { lati: "21.8566589355", longi: "-102.2683868408", val						
↑ 05:26:26	Forward uplink data message	Payload: { lati: "21.8566589355", longi: "-102.2683868408", val						
↑ 05:26:19	Forward uplink data message	Payload: { lati: "21.8566589355", longi: "-102.2683868408", val						
↑ 05:26:13	Forward uplink data message	Payload: { lati: "21.8566589355", longi: "-102.2683868408", val						
↑ 05:26:07	Forward uplink data message	Payload: { lati: "21.8566589355", longi: "-102.2683868408", val						
↑ 05:26:00	Forward uplink data message	Payload: { lati: "21.8566589355", longi: "-102.2683868408", val						
↑ 05:25:54	Forward uplink data message	Payload: { lati: "21.8566589355", longi: "-102.2683868408", val						

Figura 14.

Live data ejemplo con datos recibidos en The Things Stack desde el nodo de prueba (GPS y Lectura analógica).

Integración con vía MQTT (Message Queue Telemetry Transport)

The Things Stack permite diversos tipos de integración para mantener un registro y almacenamiento de los datos enviados a la plataforma. Para la versión gratuita utilizada en el presente proyecto (Community Edition) los datos tienen un periodo de retención de 24 horas, es por ello que para este caso se aplica una integración gratuita a través un bróker con soporte MQTT, lo cual permite mediante una adecuada configuración obtener el raw data desde The Thing Stack y redirigirlo, previo formato, a un servidor local de base de datos, como el utilizado para este caso MySQL. Ver Figura 15.

id	lati	longi	heart	temp	rssi	snr	bandwidth	sfactor	codrate
5783	21.8185	-102.1	777	36.77	-72	8	125000	74...	8B
5536	21.8221	-102.101	771	36.77	-92	9	125000	74...	8B
5772	21.8185	-102.1	776	36.77	-95	10	125000	74...	8B
5642	21.8185	-102.1	778	36.77	-70	10	125000	74...	8B
6034	21.8185	-102.1	768	36.77	-75	8	125000	74...	8B
5859	21.8185	-102.1	777	36.45	-72	8	125000	74...	8B
5902	21.8184	-102.1	791	36.45	-69	10	125000	74...	8B
6012	21.8183	-102.1	768	36.45	-102	8	125000	74...	8B
5871	21.8185	-102.1	777	36.45	-74	10	125000	74...	8B
5687	21.8185	-102.1	773	36.45	-69	8	125000	74...	8B
5814	21.8185	-102.1	778	36.45	-93	11	125000	74...	8B
5697	21.8184	-102.1	778	36.13	-96	5	125000	74...	8B
5816	21.8184	-102.1	771	36.13	-96	9	125000	74...	8B
5850	21.8184	-102.1	778	35.81	-74	11	125000	74...	8B
5565	21.8184	-102.1	780	35.81	-95	9	125000	74...	8B
5571	21.8184	-102.099	782	35.81	-69	10	125000	74...	8B
5640	21.8185	-102.1	779	35.81	-98	10	125000	74...	8B
5698	21.8184	-102.1	779	35.48	-102	9	125000	74...	8B
5623	21.8185	-102.1	779	35.48	-98	7	125000	74...	8B
5835	21.8185	-102.1	778	35.48	-71	9	125000	74...	8B
5562	21.8184	-102.1	779	35.48	-70	9	125000	74...	8B

Figura 15.

Almacenamiento de los registros desde el broker hacia el servidor MySQL (nube privada).

Adicionalmente se genera un *dashboard* que permite visualizar los datos recibidos en tiempo real y realiza un geoposicionamiento con base en las coordenadas de ubicación recibidas durante el desplazamiento del nodo de prueba. Ver Figuras 16 y 17.



Figura 16.

Dashboard para visualización de datos recibidos Nodo->Gateway->The Things Stack->Node-RED 1.



Figura 17.

Muestra de rastreo mediante mapa del desplazamiento del nodo de pruebas al momento Nodo->Gateway.

Pruebas de alcance, estabilidad y envío de datos

Para el análisis de cobertura de la señal LoRaWAN se efectuaron pruebas con línea de vista simple hacia las áreas productivas del ITEL y el perímetro.

Los recorridos se realizaron a pie en su mayoría dadas las condiciones del terreno. Las pruebas permitieron comprobar la estabilidad y alcance de la señal, se tomaron 4 puntos de coordenadas de referencia (PR) para obtener una muestra del perfil de elevación para el área de cobertura analizada. Ver Figura 18.

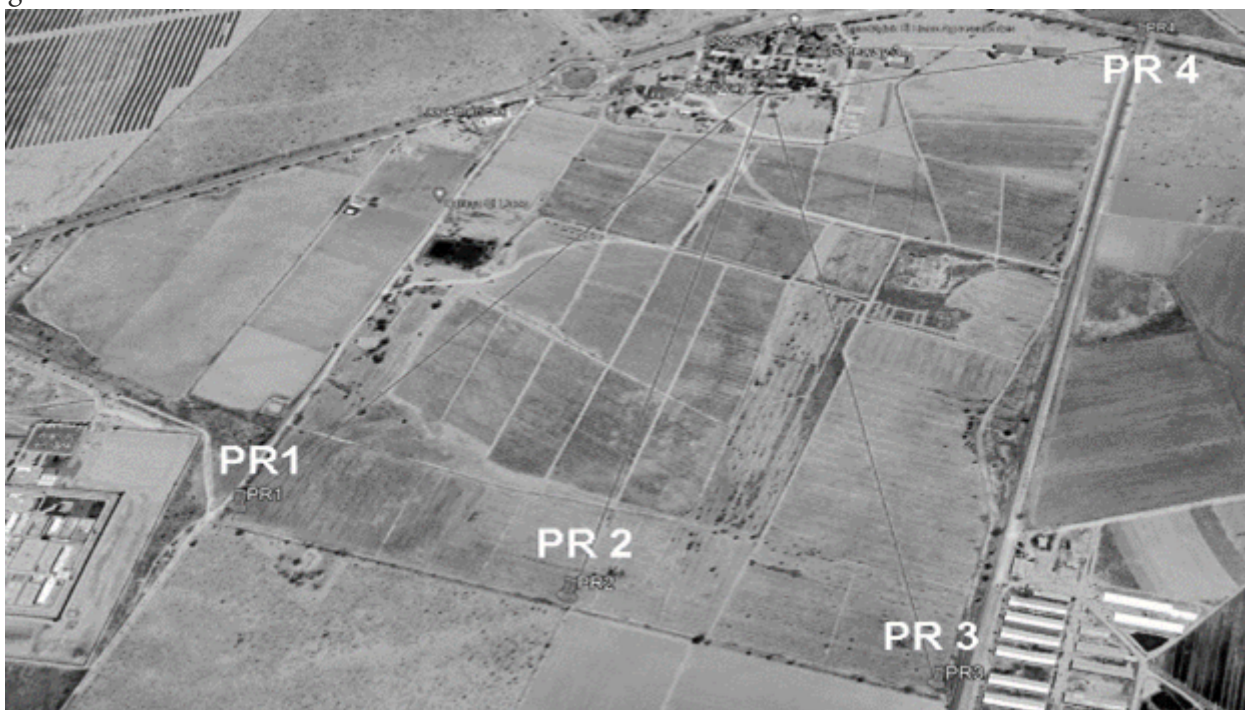


Figura 18.

Puntos de referencia para pruebas de cobertura de la señal.

Coordenadas de los puntos de referencia:

- PR1: 21°48'36.64"N, 102° 6'22.63"O, 2005M.
- PR2: 21°48'32.09"N, 102° 6'7.62"O, 2005M.
- PR3: 21°48'28.07"N, 102° 5'52.04"O, 2004M.
- PR4: 21°49'7.50"N, 102° 5'41.62"O, 2009M.

Después de instalar los Gateways en cada uno de los tres puntos correspondientes y definidos en el diagrama inicial (Labcom 1, Biblioteca, Aulas A), Se inicializa el nodo de pruebas para que comience a recolectar y enviar datos a la nube pública y privada (RSSI, SNR, coordenadas, sensor de ritmo cardiaco, sensor de temperatura).

Pruebas para el Gateway (Labcom 1)

El Gateway 1 se fija en la torre estructural TZ45 ubicada en el Laboratorio de cómputo 1. Ver figura 19.



Figura 19.
Montaje de Gateway 1 en Torre estructural TZ45 ubicada en Labcom 1.

Las notas de instalación para el Gateway 1 se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3.
Notas de instalación para el Gateway 1.

Notas de instalación para Gateway LoRaWAN en Labcom 1	Detalle
Coordenadas	21°49'7.37"N 102° 6'0.64"O, 2008M
Altura de la antena	15.0 metros
Ángulo de inclinación	1.0°
SF,BW, SF, CR, Frecuencia	7, 125000, 7, 4/5, US915

Perfil de elevación entre el Gateway 1 y los puntos de referencia

Los perfiles de elevación entre el Gateway 1 y los puntos de referencia para pruebas se muestra en las Figuras 20, 21, 22 y 23.



Figura 20.

Perfil de elevación entre el Gateway 1 y PR1.



Figura 21.

Perfil de elevación entre el Gateway 1 y PR2.



Figura 22.

Perfil de elevación entre el Gateway 1 y PR3.



Figura 23.

Perfil de elevación entre el Gateway 1 y PR4.

A continuación se muestran algunos registros y 4 campos de los más relevantes para el proyecto, coordenadas, RSSI, SNR y los datos del sensor de ritmo cardiaco. Ver Tabla 4.

Tabla 4.

Ejemplo de registros de los datos obtenidos desde el nodo de pruebas hacia el Gateway 1

Latitud	Longitud	RSSI	SNR	Lectura Analógica (Ritmo Cardiaco)
21.8179	-102.1	-58	13	767
21.8179	-102.1	-56	11	765
21.8179	-102.1	-56	8	764
21.8179	-102.1	-54	10	766
21.8179	-102.1	-56	10	763
21.8179	-102.1	-66	10	763
21.8179	-102.1	-64	8	764
21.8179	-102.1	-59	9	764
21.8179	-102.1	-60	11	780
21.8179	-102.1	-59	10	803

Los datos que se almacenan en las tablas de la base de datos incluyen las coordenadas para cada payload enviado al Gateway 1 por el nodo de pruebas. Estas se importan en ArcGIS Pro para su georreferenciación. Ver Figura 24.



Figura 24.

Marca de paquetes LoRaWAN recibidos por Coordenadas para el Gateway 1.

Posteriormente se genera el mapa de calor en donde se muestra la intensidad de la señal mediante RSSI, con las Coordenadas de origen de los paquetes LoRaWAN enviados desde el nodo de pruebas al Gateway 1. Lo anterior se muestra en la Figura 25.



Figura 25.

Mapa de calor RSSI con las Coordenadas de origen de los paquetes LoRaWAN recibidos para el Gateway 1.

La totalidad del área recorrida se cubre con la señal LoRaWAN sin problemas por el Gateway 1, obteniendo valores RSSI de -69 dBm para las zonas cercanas al Gateway y valores oscilando entre -90 y -114 dBm en las áreas más lejanas del ITEL (marcadas en los puntos de referencia). Los mapas de calor generados muestran la potencia RSSI de la señal LoRaWAN, la cual tiene una concentración más alta en las ubicaciones más próximas a cada Gateway debido a que la distancias no superan los 200 metros, después de este punto la potencia de la señal comienza a disminuir conforme nos alejamos. La clasificación de concentración por colores permite identificar de forma visual cómo se comporta la señal. Al ser un entorno rural, se tienen menos interferencias que en un entorno urbano, sin embargo, se debe tomar en cuenta que siguen existiendo factores que afectan al enlace ente el nodo de pruebas y cada Gateway, tales como la orografía, obstáculos (árboles, estructuras, distancia, altura de la torre, ganancia de las antenas, entre otros). No obstante, se logró cubrir toda el área del ITEL con la configuración actual. Dicha área se definió como meta para el presente proyecto.

Diagrama de distribución de los Gateways para la conectividad IoT

El diagrama de integración entre los Gateways para la *Fog* IoT (niebla) y la infraestructura existente para salida a Internet se muestra en la Figura 26.

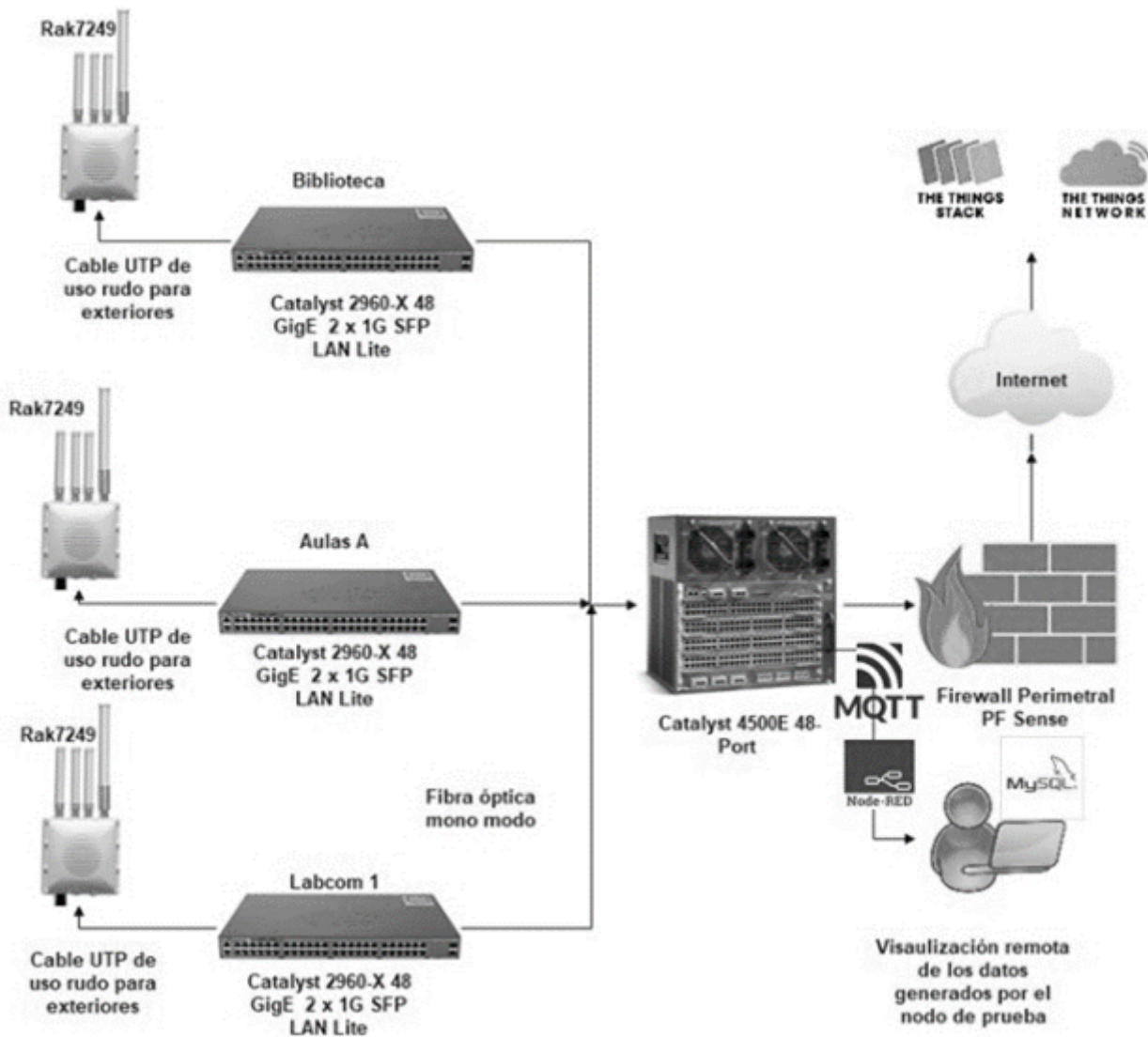


Figura 26.

Diagrama de integración entre Gateways para la Fog IoT a la infraestructura existente.

Resultados

Se concluyen todas las fases de la implementación del presente proyecto de investigación aplicada. Se fortalece la infraestructura tecnológica del ITEL, instalando 3 Gateways IoT que permiten la integración de nodos aplicados a Internet de las cosas. Se logran en concreto los siguientes resultados:

- Se implementan distintos puntos de conectividad en la institución mediante Gateways IoT montados en las torres estructurales ubicadas en Laboratorio de cómputo 1, Biblioteca y Zona de Aulas A.
- Se efectúan pruebas de conectividad, alcance y estabilidad satisfactorias con línea de vista simple desde distintos puntos de referencia en el tecnológico hacia cada punto de conexión.
- Se implementa una infraestructura de conectividad adecuada para IoT que permite enviar datos de monitoreo desde las áreas productivas remotas en la institución (Áreas de cultivo, Invernaderos, áreas de ganadería, áreas apícolas y perímetro) hacia la nube pública y privada lo cual es elemental para la explotación de los mismos, la generación de conocimiento y la toma de decisiones en el ITEL.
- La infraestructura instalada permite integrar nodos IoT de bajo consumo eléctrico y largo alcance de transmisión de datos, a un costo menor que los protocolos de conectividad convencionales con la

finalidad de conectar cosas, visualizando los ahorros energéticos y horas hombre implícitos para la institución.

- La plataforma de comunicaciones IoT generada mediante la implementación de los Gateways posibilita la integración de los sistemas y los sistemas de sistemas que se generen a futuro en el Instituto Tecnológico El Llano, para atender las áreas de agricultura, ganadería, apicultura y seguridad, entre otras. Esto con la finalidad de coadyuvar en las investigaciones que impacten en el desarrollo de la institución, de su capital humano, de los alumnos, y de la región.
- Permite a la institución contar con una plataforma que permita realizar las prácticas de la especialidad de IoT para el desarrollo del potencial de los docentes y alumnos del área tecnológica.
- Se realiza una integración de los datos obtenidos por el nodo de pruebas para generar un *dashboard* que permite realizar una administración visual al momento de los datos enviados por los nodos remotos sobre la infraestructura IoT implementada.
- Se generan mapas de calor que muestran la cobertura de la señal LoRaWAN para todo el ITEL y sus áreas productivas logrando niveles de intensidad de señal RSSI entre -68 y -114 dBm, esto para los puntos más cercanos y más lejanos a los Gateways respectivamente, con capacidad de mejora mediante combinaciones de distintos tipos de antenas y factores de dispersión.
- El Instituto Tecnológico El Llano ahora cuenta con una infraestructura que constituye un medio seguro y cifrado para transmisión de datos de las cosas a gran distancia.
- Se sientan las bases para la aplicación de IoT en el ITEL visualizando el gran impacto inherente a la modernización de las herramientas tecnológicas de conectividad, monitoreo, analítica de datos, control, automatización y gestión del sector productivo en general.

Conclusiones

El Internet de las cosas tiene cada vez más presencia en el entorno urbano, industrial y agropecuario. El desarrollo del presente proyecto de investigación aplicada, permite a la institución contar con tecnología de vanguardia que coadyuve al personal del instituto en las investigaciones que impacten en el desarrollo regional de las áreas agropecuarias. Se brinda cobertura IoT a toda la extensión del tecnológico lo cual posibilita conectar nodos en ubicaciones remotas de la institución, lo cual es esencial para contar con datos en todo momento sobre los cultivos en invernaderos, vehículos para trabajo del campo, ganado, apicultura, uso del agua para riego, seguridad perimetral por mencionar algunas de las aplicaciones que son de gran impacto para el sector productivo del ITEL, del estado de Aguascalientes y de la región.

Quedan sentadas las bases para el desarrollo de los sistemas actuales y futuros en el ITEL, los cuales permitan a través de la explotación y el conocimiento generado por los datos obtenidos de las cosas, el monitoreo, control y optimización de la operación de las áreas productivas del instituto, estando a la altura de las exigencias de competitividad tecnológica y modernización que se demanda para contribuir en el desarrollo nacional, proyectadas por el gobierno Federal en el Acuerdo Nacional Para la Autosuficiencia Alimentaria enfocadas al rescate del campo.

Referencias

- [1] CISCO (2011). Internet of Things “La próxima evolución de internet lo está cambiando todo”. Recuperado: 24/08/2021, desde: https://www.cisco.com/c/dam/global/es_es/assets/executives/pdf/Internet_of_Things_IoT_IBSG_0411FINAL.pdf
- [2] ORACLE (2021). ¿Qué es IoT?. Recuperado: 25/08/2021, desde: <https://www.oracle.com/mx/internet-of-things/what-is-iot/>
- [3] Vailshery, L. (2021). Number of internet of things (IoT) connected devices worldwide in 2018, 2025 and 2030(in billions). Recuperado: 22/01/2021, desde: https://www.sas.com/es_mx/insights/big-data/internet-of-things.html
- [4] SAS (2021). Transformación Digital: ¿Qué es? Y ¿Por qué es importante? Recuperado: 15/09/2021, desde: https://www.sas.com/es_mx/insights/big-data/internet-of-things.html
- [5] Pinar, I (2020). Master en IoT: Conéctate al Futuro. Recuperado: 20/08/2021, desde: <https://www.udemy.com/course/master-en-internet-of-things-conectate-al-futuro/>
- [6] INCIPY (2015). Internet of things (IoT) en la transformación digital de las empresas. Recuperado: 24/08/2021, desde: <https://www.fundacionseres.org/Lists/Informes/Attachments/987/150923%20internet-of-things.pdf>
- [7] Agricultura (2021). Agricultura 4.0: Un sector en cambio tecnológico. Recuperado: 25/08/2021, desde: http://www.revistaagricultura.com/maquinaria/maquinaria/agricultura-40-un-sector-en-cambio-tecnologico_8657_120_10681_0_1_in.html
- [8] MICROSOFT (2021). Pila de tecnologías de IoT, 2ª parte: Protocolos y conectividad de IoT. Recuperado: 25/08/2021, desde: <https://azure.microsoft.com/es-mx/overview/internet-of-things-iot/iot-technology-protocols/>
- [9] Mekki, K., Bajic, E., Frederic, C. & Meyer, F. (2018). Acomparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment. Recuperado: 29/09/2021, desde: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405959517302953>
- [10] LORA-ALLIANCE (2021). ¿Qué es la especificación LoRaWAN®?. Recuperado: 15/09/2021, desde: <https://lora-alliance.org/about-LoRaWAN/>
- [11] 2cigroup (2021). Conceptos de Actualidad, Lora y LoRaWAN. Recuperado: 01/09/2021, desde: <https://www.2cigroup.com/es/conceptos-de-actualidad-lora-y-lorawan>
- [12] Digikey (2021). Desarrollar con LoRa para aplicaciones IoT de baja tasa y largo alcance. <https://www.digikey.com.mx/es/articulos/develop-lora-for-low-rate-long-range-iot-applications>
- [13] 3glteinfo (2021). LoRaWAN Frequency Bands. Recuperado: 01/09/2021, desde: <https://www.3glteinfo.com/lora/LoRaWAN-frequency-bands/>
- [14] Ordóñez, I (2017). "Estudio de la arquitectura y el nivel de desarrollo de la red LoRaWAN y de los dispositivos LoRa. Recuperado: 30/09/2021, desde:
- [15] Radioshuttle (2021). Reflexiones generales sobre el alcance LoRa. Recuperado: 13/10/2021, desde: <https://www.radioshuttle.de/es/lora-es/bases/>
- [16] Lora.readthedocs (2021). LoRa. Recuperado: 07/10/2021, desde: <https://lora.readthedocs.io/en/latest/#rssi>
- [17] Thethingsindustries (2021a). ABP vs OTAA. Recuperado: 01/09/2021, desde: <https://www.thethingsindustries.com/docs/devices/abp-vs-otaa/>
- [18] Lanner (2021). ¿Qué es un Gateway IoT?. Recuperado: 17/09/2021, desde: <https://www.lanner-america.com/es/blog-es/que-es-un-gateway-iot/>

- [19] INTEL (2021). Aprovechando el poder de la IoT. Recuperado: 25/08/2021, desde: <https://www.intel.la/content/dam/www/public/lar/xl/es/documents/articles/harnessing-the-power-of-iot-spa.pdf>
- [20] WNI (2021). Tipos de Antenas y Funcionamiento. Recuperado: 17/09/2021, desde: https://www.wni.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=62:antenasoporte&catid=31:general&Itemid=79
- [21] Semtech (2021). Products: Wireless RF: LoRa® Platform for IoT: LoRa Core™, LoRa Edge™ and LoRa 2.4GHz. Recuperado: 24/09/2021, desde: <https://www.semtech.com/products/wireless-rf>
- [22] IBM (2021b). Netcool Operations Insight. Recuperado 15/09/2021, desde: <https://www.ibm.com/docs/es/aix/7.1?topic=protocol-tcpip-protocols>.
- [23] Llamas, L. (2019). Protocolos de comunicación para IoT. Recuperado: 22/10/2021, desde: <https://www.luisllamas.es/protocolos-de-comunicacion-para-iot/>
- [24] Sam-Solutions (2022). Top IoT Platforms. Recuperado: 02/02/2022, desde: <https://www.sam-solutions.com/blog/top-iot-platforms/>
- [25] Rakwireless.com (2021). Quick Start Guide. Recuperado: 12/12/2021, desde: <https://docs.rakwireless.com/Product-Categories/WisGate/RAK7249/Quickstart/#wan-port-ethernet>