



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN PROTOTIPO PARA TRANSMITIR
PARÁMETROS DE PERFORACIÓN, EN TIEMPO REAL UTILIZANDO
LPWAN EN UN POZO PETROLERO.

Autor

Michael Fabian Freire Tejada

Año
2019



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN PROTOTIPO PARA TRANSMITIR
PARÁMETROS DE PERFORACIÓN, EN TIEMPO REAL UTILIZANDO LPWAN
EN UN POZO PETROLERO.

“Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos
establecidos para optar por el título de Ingeniero en redes y
telecomunicaciones”

Profesor guía:
PhD. Orozco Garzón Nathaly Verónica

Autor:
Michael Fabian Freire Tejada

Año
2019

DECLARACION PROFESOR GUÍA

"Declaro haber dirigido el trabajo, diseño y desarrollo de un prototipo para transmitir parámetros de perforación, en tiempo real utilizando LPWAN en un pozo petrolero, a través de reuniones periódicas con el estudiante Michael Fabián Freire Tejada, en el semestre 201910, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación".

Nathaly Verónica Orozco Garzón

DOCTORA EN INGENIERIA ELECTRICA EN EL AREA DE
TELECOMUNICACIONES Y TELEMATICA

CI. 1720938586

DECLARACION PROFESOR CORRECTOR

"Declaro haber revisado este trabajo, diseño y desarrollo de un prototipo para transmitir parámetros de perforación, en tiempo real utilizando LPWAN en un pozo petrolero, de Michael Fabian Freire Tejada, en el semestre 201910, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación".

Iván Ricardo Sánchez Salazar
MAGISTER EN CALIDAD SEGURIDAD Y AMBIENTE
CI. 180345614-2

DECLARACION DE AUDITORIA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.”

Michael Fabian Freire Tejada

CI: 0502989619

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi familia en especial a mi madre y a la universidad de las amélicas que hecho posible mi formación académica. Agradezco a mi profesora Johanna por su apoyo y conocimientos brindados

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres A mi hermana a mi enamorada Quienes con su apoyo han hecho posible mi formación y culminación de esta carrera

RESUMEN

El siguiente trabajo de titulación se basa en el diseño y desarrollo de un prototipo que brinda la posibilidad de transmitir parámetros de perforación en tiempo real. Utilizando tecnología LoRaWAN en pozos petroleros, debido al estudio y comparación que será visible posteriormente; esta tecnología resultó ser la más adecuada, dado que tiene una gran cobertura y su capacidad limitada de transmitir alta cantidad de información la hace más eficiente para esta problemática, puesto que los datos que se requieren transmitir son 4. Este prototipo tiene la finalidad de optimizar la toma de datos de perforación los cuales son: presión, temperatura, vibración y profundidad, además permite reducir los riesgos laborales a los que estaban expuestos los técnicos de campo, evitando la manipulación directa de la maquinaria.

El prototipo consta de dos módulos: emisor y receptor. El módulo emisor se encarga de obtener los datos del sensor de la bomba de extracción y posteriormente enviarlos al módulo receptor, el cual recibe las medidas sensoriales tomadas. El módulo receptor también estará conectado a paneles, los cuales permiten la visualización de los datos.

Este prototipo tiene la capacidad de almacenar la información transmitida en un servidor de base de datos siempre y cuando exista conectividad a internet dentro de la zona.

ABSTRACT

The following final paper is based on the design and development of a prototype that provides the possibility of transferring drilling parameters in real time. Using LoRaWAN technology in oil wells, due to a study and comparison that will be visible later; This technology is more appropriate, given that it has a large coverage and its limited capacity to transmit information is much more efficient for this problem. the taking of data of perforation which are: pressure, temperature, vibration and depth, besides the labor risks and the technicians of the field, avoiding the direct function of the machinery.

The prototype consists of two modules: transmitter and receiver. The emitter module is responsible for obtaining the sensor data from the extraction pump and then sending them to the receiver module, which receives the sensory measurements taken. The receiving module will also be connected to the panels.

This prototype has the ability to store the information transmitted in a database server as long as there is internet connectivity within the area.

ÍNDICE

1.	CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
1.1.	Antecedentes	1
1.2.	Justificación	10
1.3.	Objetivos	11
1.3.1.	Objetivo General	11
1.3.2.	Objetivos Específicos.....	11
2.	CAPITULO II. MARCO TEÓRICO	11
2.1.	Principales tecnologías IoT.....	11
2.1.1.	IEEE 802.15.4	12
2.1.2.	Bluetooth/LE	12
2.1.3.	IEEE 802.11 ah.....	13
2.1.4.	Sigfox	13
2.2.	Redes área amplia de baja potencia (LPWAN).....	13
2.2.1.	Definición.....	13
2.2.1.2.	Características y aplicaciones	15
2.2.2.	Definición.....	16
2.2.2.1.	Arquitectura de IoT	17
2.2.2.2.	Dispositivos utilizados en IoT.....	19
2.2.3.	LoRa y LoRaWAN	21
2.2.3.1	Definición.....	21
2.2.3.2.	Protocolo abierto LoRa.	22
2.2.4.	Arduino	24
3.	CAPITULO III. METODOLOGÍA	24
3.1	Ámbito de proyecto	24
3.2.	Alcance.....	24
3.3	Situación actual	26
3.4	Bombas de extracción de crudo	26

3.4.1 Sensor de fondo	28
3.5 Metodología.....	30
3.5.1 Identificación de requerimientos básicos	30
3.5.2 Evaluación de LoRa y LoRaWAN para redes de sensores inalámbricos	31
3.5.3 Diseño del prototipo inicial	31
3.5.4 Implementación del prototipo.....	31
3.6 Resultados esperados	32
3.7 Elementos diferenciadores o innovadores.....	33
4. CAPITULO IV. DISEÑO DE LA RED	33
4.1. Descripción breve del problema	33
4.2 Comparar las diferentes Tecnologías asociadas al IoT	35
4.3 Comparativa de los protocolos para la tecnología LPWAN	37
4.3.1 Capacidad	38
4.3.2 Cobertura.....	38
4.3.3 Consumo energético.....	39
4.3.4 Coste	40
4.4 Materiales y dispositivos requeridos para el prototipo.	41
4.5. Descripción de Seeedduino LoRaWAN.....	42
4.6 Descripción general del hardware	44
4.6.1 Hardware Seeedduino LoRaWAN	44
4.6.2 Mapa de Pin	46
4.7 Ejemplos básicos Seeedduino LoRaWAN	47
4.7.1. Parpadeo	47
4.7.2. Batería.....	49
4.7.3 Enviar y recibir ejemplo.....	50
4.7.4. Enviando P2P	50
4.7.5 Recibiendo P2P	51
4.7.6. Actualizar firmware	52

5. CAPITULO V. IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO.....	53
5.1. Potenciómetros y pantalla.....	54
5.2. Programación módulos emisor receptor.	56
5.3. Interface y base de datos.....	59
6. CAPÍTULO VI. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	60
6.1. Prueba de envío y recepción de datos.....	60
6.2. Almacenamiento en la base de datos.	65
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	67
7.1 Conclusiones.....	67
7.2 Recomendaciones.	68
REFERENCIAS	69
ANEXOS.....	74

1. CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

El petróleo se ha constituido en la principal fuente de energía a nivel mundial, es importante para el funcionamiento de la economía de un país e incluso de cualquier plan de desarrollo, crecimiento e industrialización.

La matriz energética mundial indica que la energía primaria importante es el petróleo, esta sustenta su crecimiento en combustibles fósiles, que representan el 80% de dicha matriz, el otro 20% proviene de fuentes nucleares, biomasa, hidroelectricidad y otras fuentes de energía renovable (Torres, 2013). El desarrollo de nuevas tecnologías para reemplazar este recurso no renovable puede llevar décadas, por ende, las etapas de extracción requieren de nuevas tecnologías para lograr procesos más eficientes en tiempo real. Las últimas décadas han mostrado que el mercado mundial del petrolero se ha vuelto complejo debido a la gran competencia que cada día va en aumento, el desarrollo de las tecnologías de la información y comunicación, al mercado volátil y a los avances en las redes de telecomunicaciones son útiles y una gran herramienta para destacar en el campo petrolero.

El mercado de la conectividad Máquina a Máquina (M2M, del inglés Machine to Machine) ha sido dominado por las redes móviles típicas, pero esta realidad está tendiendo a cambiar. Un informe publicado por Beecham Research denominado como Informe de mercado y pronóstico sobre las redes de área amplia de baja potencia (LPWAN) para aplicaciones de internet de las cosas (IoT, del inglés Internet of Things), menciona que, al brindar gran alcance, costo bajo y mínimo consumo de energía, LPWAN proporciona una cadena amplia de aplicaciones M2M e IoT, que en la actualidad son escasas por aspectos presupuestales y de distancia en la fuente de voltaje. Este estudio prevé que en el año 2020 las LPWAN abastecerán el 26% del mercado de la conectividad IoT con 345 millones de conexiones. Las LPWAN representan un

avance más activo con la capacidad de cambiar el curso del mercado M2M/IoT, brindando redes optimizadas para la conexión de máquinas con costos de implementación considerablemente menor al de redes móviles tradicionales (Martínez, 2015).

Desde el aparecimiento del Internet, la sociedad se ha transformado cambiando la manera de comunicarse e interrelacionarse. IoT ha modificado la forma en que los usuarios se interrelacionan, pero también como se relacionan con los objetos o dispositivos (González, 2017). El avance de tecnologías modernas permite la evolución de redes que soporten grandes cantidades de dispositivos conectados. El desarrollo de nuevas redes de sensores con conexión a internet, han hecho que las operadoras de telefonía móvil, también adecuen la infraestructura de red que se despliega a los requisitos de los dispositivos. En definitiva, ninguna empresa puede desaprovechar los beneficios del IoT. Por ende, buscarán desarrollar estas nuevas tecnologías en beneficio, todas aquellas dedicadas a la actividad petrolera la cual es de interés en el presente trabajo, porque le brindan nuevas capacidades para el fortalecimiento de estudios técnicos y de producción, pero sobre todo tener la facilidad para adquirir información en tiempo real para tomar de decisiones más eficientes sin que sea necesario detener procesos para conseguir dicha información.

El IoT actualmente proporciona que los objetos tengan la capacidad de procesamiento e interacción con el ambiente, brindan la capacidad de recopilar la información y usarla para crear un entorno inteligente. El objetivo de esta tecnología es la creación de espacios y sistemas inteligentes para facilitar la vida de las personas, fortalecer y aumentar la eficacia de instalaciones y dar facilidad sus funciones. Se encuentra relacionada con las tecnologías denominadas como Big data, de hecho, se considera su base, puesto que de esta se adquiere la información que posteriormente es almacenada, filtrada y procesada en servidores de la nube con una gran capacidad de procesamiento. Otro aporte es su habilidad de conseguir información a través de los

dispositivos conectados, además la oportunidad de recopilar y procesar toda la información ayuda a todas las áreas inteligentes, que contribuyan a que todo tipo de servicios sean rápidos para las personas que influyan en mejorar su calidad de vida (Munera, 2018).

El IoT ha posibilitado la conexión cada vez de más dispositivos a la red. Esta tecnología permite que las personas y los procesos aprovechen los datos para la mejora de la toma de decisiones de las empresas, organizaciones que ayude a la vida cotidiana y al desarrollo tecnológico. Cisco pronostica que en el año 2020 habrá 50 billones dispositivos conectados a Internet, las diferentes previsiones contempladas muestran un crecimiento exponencial de los dispositivos IoT de manera especial en las áreas de empresa, sector público y de consumo, incluso se manifiesta que la mano de obra del futuro será de IoT, que obliga a la capacitación de profesionales, a la implementación de procesos sistemáticos más precisos para prevenir errores y hacer que la tecnología tenga mayor utilidad. La evolución del IoT se ha extendido a las ciudades, al medio ambiente, a la energía, a la agricultura, a la actividad petrolera, al consumo, la logística, el comercio, la salud electrónica, en general a las industrias con valor económico previsto de 11,1 billones de dólares para el 2025. Pero no solo se consideran los beneficios empresariales sino también las posibilidades que brinda para el empleo. Datos del Banco Mundial estiman en los próximos años habrá dos millones de vacantes relacionadas con las TIC a nivel mundial. Para manejar este tipo de tecnologías se requiere de 220.000 nuevos ingenieros cada año desde el 2014 al 2022 (Borrero, Fernández, & Rodríguez, 2017).

LPWAN en el año 2025 se constituirá como las redes de conectividad de gran crecimiento, cuando su variedad tecnologías conectará a 4.000 millones de dispositivos IoT, según información de un estudio efectuado por la empresa ABI Research. Esta cifra se detectará en 1.000 millones de chipsets comercializados, que generan 2.000 millones de dólares. Estimaciones muestran que servicios públicos y administraciones de energía obtendrán gran

participación en el mercado de LPWAN porque las aplicaciones que requieren de medidores de agua y electricidad se relacionan con las particularidades esenciales de estas tecnologías, como amplia cobertura y un cálculo de enlace más alto (Krom, 2016). ¿Estas tecnologías tendrán grandes ventajas en mercados como el petrolero que requiere mayor eficiencia de qué? para la prevención de pérdidas de qué? y contar con información más precisa para la obtención de petróleo.

Ha crecido la popularidad en los últimos años, a la cantidad de controladores, dispositivos LPWAN y sensores conectados a la Internet El dispositivo terminal que puede ser una chapa de puerta, un rastreador GPS, un termostato, un sensor, entre otros, se conecta a Internet sin el uso de tecnologías tradicionales como el celular, ZigBee, Bluetooth o Wifi (Vega I. , Lagos, Salgado, Tapia, & Sánchez, 2018).

La historia del Ecuador se encuentra enmarcada de manera esencial por la labor petrolera, sobre todo desde que se inició la exportación de crudo en el año de 1973. La actividad petrolera se constituye en la actualidad como uno de los principales en su estructura productiva, que aporta un promedio de 12,7% del PIB a precios que fueron constantes durante el periodo del 2000 al 2012. El desempeño económico y la capacidad del Estado se encuentra influenciada por los hechos que pueden acontecer en el sector, con el precio del barril de petróleo a nivel internacional, aunque de manera cuantitativa el PIB Total tiene una mayor asociación con las ramas no petroleras. Las ramas de la actividad petrolera crecieron un 7,6% en el periodo del 2000 – 2006, pero cayeron entre los años 2007 y 2012, en cambio las ramas no petroleras tienen un mejor desempeño en este mismo periodo como se muestra en la Tabla 1 (Mateo & García, 2014).

Tabla 1.

Valor agregado bruto (VAB) desagregado por ramas petroleras y no petroleras (tasas de variación promedio y estructura porcentual)

	2000–2006	2007–2012
Tasas variación promedio		
Vab ramas petroleras	7.6	(0.8)
Vab ramas no petroleras	4.5	5.2
Otros elementos del pib	3.9	2.8
Pib total	4.8	4.3
Estructura porcentual		
Vab ramas petroleras ⁽¹⁾	13.3	12.0
Vab ramas no petroleras	81.7	83.6
Otros elementos del pib ⁽²⁾	5.0	4.4
Pib total	100.0	100.0

Adaptado de (Mateo & García, 2014)

Nota: 1. El PIB petrolero comprende la parte primaria correspondiente a petróleo y minas y la parte industrial de refinación de petróleo; 2. Comprende valores de ajuste.

Desde el 2006, se profundizó un cambio en la concepción del petróleo en el Ecuador. Se inicia la etapa denominada como “soberanía energética”, se profundizan cambios con el reingreso del país a la OPEP, con la promulgación de la Constitución del año 2008, el petróleo se considera que pertenece al conjunto de sectores denominados como estratégicos. El numeral 11 del artículo 261 atribuye en exclusiva al Estado Central para ejercer su propiedad, que reserva, el derecho a su administración, regulación, control y gestión. El sector petrolero es explotado en Ecuador por la empresa estatal petrolera del Ecuador (Petroecuador) que fue creada como un sistema de empresas asociadas (*holding*). La producción se efectúa en la región amazónica en los yacimientos de Sushufindi, Sacha, Libertador, Cononaco, Cuyabeno, Lago Agrio y Auca (Mateo & García, 2014).

La producción petrolera se encuentra caracterizada por una marcada inestabilidad como se puede observar en la Figura 1, tanto por factores externos e internos, los primeros se encuentran vinculados con el precio

internacional del barril de petróleo, el mercado internacional e incluso hasta conflictos bélicos, los segundos tienen mayor relación con la capacidad de organización de la empresa estatal, la corrupción, la limitada capacidad de implementar nuevas tecnologías para encontrarse en la vanguardia del mercado tanto en los procesos de perforación de pozos, como en la industrialización de la actividad petrolera.

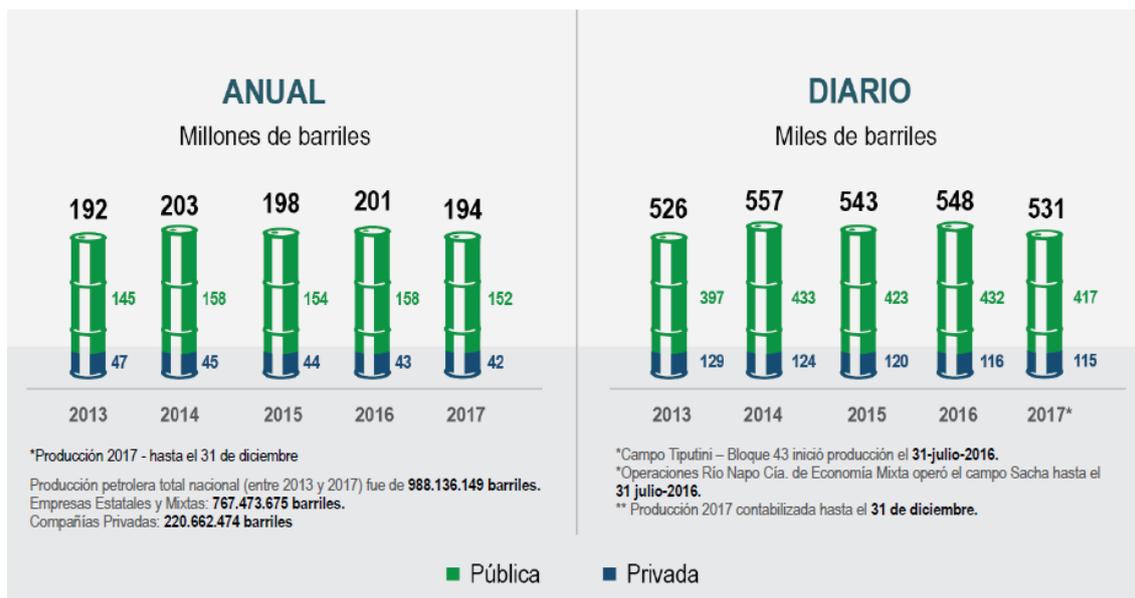


Figura 1. Producción petrolera anual y diaria
 Tomado de (Ministerio de Hidrocarburos, 2017)

En la Figura 1 se puede observar la inestabilidad del sector, cada año se produce cantidades diferentes porque tienen influencia los factores tanto internacionales, nacionales y los tecnológicos, por ende, tecnologías como LPWAN, brindan una variedad de oportunidades significativas para las empresas del sector público del Ecuador dedicadas a la extracción de petróleo.

En el país la forma de extraer petróleo ha cambiado drásticamente, al igual que los procesos para obtener información logística, con los avances de la tecnología se ha logrado extraer mayores cantidades de petróleo, contar con datos precisos para la extracción en los pozos petroleros, reducir el tiempo de los procesos y además generar un menor impacto en el medio ambiente.

Dentro del proceso de extracción, existen varios parámetros básicos como: presión, temperatura, vibración y profundidad de un pozo. La necesidad de llevar un control y monitoreo en tiempo real de los parámetros antes descritos es de alta importancia; ya que estos datos son fundamentales para determinar a ciencia exacta el flujo de crudo que se puede extraer de ese pozo.

Este sector productivo adolece de problemas, en primer lugar, hay que considerar las reservas que se considera que alcanzado el denominado cúpula de la campana de Hubbert, que significa que se explotado la mitad o más de sus reservas, se revelan menos yacimientos, estos son de menor área, que son onerosos con un crudo más pesado incluso, el país se encuentra en el umbral del actual modelo económico extractivista. En segundo lugar, se detecta pocas inversiones en el sector relacionado con los trabajos de exploración y extracción de petróleo, reacondicionamiento de los pozos, el mantenimiento de equipos, la incorporación de nuevas tecnologías se debe destacar que entre el periodo 2006 y 2009 las empresas redujeron sus inversiones entre 772 a 281 millones de dólares, que influyo en la baja producción. Petroecuador sufrió una defectuosa financiación para arremeter con proyectos de inversión, padece de una obstrucción económica deliberada que no le ha permitido mejorar su competencia productiva, su infraestructura es obsoleta esto ha impedido su crecimiento. Las consecuencias son la caída de la producción del cúmulo de yacimientos, se ha tenido que cerrar pozos por daños sufridos en las estructuras y equipos, tampoco se cuenta con un proyecto para la implementación de tecnologías nuevas (Mateo & García, 2014).

Otro problema surge en el procedimiento de obtener los datos del sensor que mide los parámetros presión, temperatura, vibración y profundidad de un pozo. La forma como actualmente se obtiene la información es deteniendo los procesos que se realizan en ese momento. Para tomar la medida se utiliza un panel que debe estar conectado a la tierra del ~~sensor~~, el cual está libre en la superficie del pozo y a su vez enrollado en un carrete, el cual desciende con la maquinaria, es decir, el técnico encargado de revisar esta medición debe

exponerse a la maquinaria para unir los cables necesarios y obtener los valores de manera manual que refleja el sensor. El siguiente paso es informar sobre los datos del pozo a los ingenieros, los mismos que diagnostican y deciden cuál es el proceso a realizar según los valores presentados. Cabe recalcar que en este proceso existe un inconveniente que es la ausencia en campo de las personas que dirigen y toman las decisiones sobre los procesos.

Todos estos problemas podrían minimizarse con la implementación de nuevas tecnologías en todas las etapas de producción. Un programa de monitoreo integral de pozos y campos petroleros está avanzando hacia la aceptación de tecnología que poseen servidores en la nube (*cloud computing*). Esta aceptación involucra que la información en tiempo real puede observarse y ser analizada de manera directa en cualquier parte del planeta, con ayuda de dispositivos móviles con conexión a internet. Esta herramienta brinda la posibilidad al personal del campo petrolero a tener acceso a la información enviada a la base de datos y a los softwares que se requieran para el análisis de los pozos desde cualquier lugar (López, Córdova, Mena, & Soria, 2017). Las ventajas son significativas como la reducción de costos de inversión en software, infraestructura, tiempo de respuesta, trabajo en conjunto e incluso progreso en la comunicación.

Debido a la evolución de la tecnología es posible encontrar sensores, actuadores, transmisores y paneles que permiten leer los datos y transmitirlos en tiempo real sin tener que parar los procesos que se realizan en el pozo. Inclusive estos datos se pueden mostrar a través de una página web o aplicación móvil para que los interesados conozcan información relevante para la toma de decisiones. Dados estos avances, se puede diseñar un prototipo que pueda mostrar los datos en tiempo real, optimizando de esta manera el proceso anteriormente detallado.

El tema de utilización de LPWAN en un pozo petrolero es relativamente nuevo, (López, Córdova, Mena, & Soria, 2017) menciona que se han efectuado las

investigaciones con la aplicación de LPWAN en diferentes campos. Este tipo de tecnologías se están adentrando en la vida diaria y el desarrollo productivo de las empresas. Los datos obtenidos en el pozo explorador son esenciales para efectuar un estudio. El análisis de la información en tiempo real brinda la posibilidad de optimizar la perforación de pozos de avanzada. Los datos obtenidos permite: la planificación de proyectos a mediano plazo para conservar la presión de campo; análisis de datos presión en tiempo real; monitoreo de pozos inyectores de agua y gas, para la evaluación el aporte de presiones al yacimiento y conducta de programas de inyección; desarrollar representaciones del modelo de yacimiento a través de información de presión, que ayuden a la ajuste y calibración de simulación matemática; el monitoreo de las operaciones desarrolladas antes, durante y después de trabajos de fracturamiento, limpieza e incluso conservación de los pozos.

Estos autores consideran que el monitoreo de un yacimiento es una oportunidad para las compañías de servicio, porque obtienen información que ayudan al incremento de la vida útil de su campo. Los sensores electrónicos aplicados en la actividad petrolera han tenido grandes avances, desde los años 60 comienzan las instalaciones de sensores permanentes que permitían el monitoreo continuo de presión en el ensamblaje de fondo, se ha presentado grandes avances como la transmisión de información con sistemas satelitales de comunicación, software integrado y base de datos. El IoT con la ayuda de las LPWAN, puede cambiar la forma de operar industrias y actividades importantes como es la petrolera. A través de uso de tecnología inalámbrica con sensores, se puede obtener información en tiempo real para la toma de decisiones rápidas basadas en las condiciones del clima, suelo, humedad, viento. Algunas LPWAN se basan en el protocolo conocido como LoRa (Long Range), protocolo abierto que fue desarrollado por *LoRa Alliance* para la creación de LPWAN para el mercado de IoT. Las LPWAN que usan el protocolo LoRa se les conoce como LoRaWAN, usan comunicación de radio de baja potencia que ayuda a establecer conexiones de largo alcance que transmite pequeñas porciones de información a baja velocidad las cuales consiguen

mayor tiempo de vida de baterías. (Vega J. , Lagos, Salgado, & Tapia, 2018).

El presente trabajo, analiza los requisitos esenciales de IoT y las características de las redes de conexión, para comprender la implicación de estas nuevas tecnologías, que servirá para el planteamiento teórico del presente trabajo y que ayudará a la selección de la tecnología que brinda mejores posibilidades en la propuesta planteada.

1.2. Justificación

Este proyecto tiene la finalidad desarrollar un prototipo, el cual permite obtener datos del proceso de extracción de petróleo con la ayuda de comunicaciones inalámbricas y electrónica digital para visualizarlos en tiempo real. El procedimiento actual es mecánico y rustico, por lo cual la ejecución requiere demasiado tiempo, el mismo que genera un alto costo para la empresa, y además representa un riesgo laboral considerable para los operarios. Al implementar el prototipo se logrará mitigar este riesgo y costo, ya que brinda una solución óptima e innovadora con el uso de tecnología, con la modernización del sector petrolero en la etapa de perforación de pozos, que ayuden a la reducir los tiempos y la continuidad de los procesos.

El uso de redes de área amplia y baja potencia (LPWAN) se fundamenta en que el prototipo solo necesita transmitir 3 datos para los cuales no se requiere de una alta potencia y mientras que el área en la cual se va a usar el prototipo es bastante amplia, con línea de vista y permite una mayor eficiencia en la recopilación de datos del pozo seleccionado para la implementación de la propuesta.

La principal contribución de este proyecto de titulación es diseñar un prototipo con la capacidad de recopilar y visualizar en paneles los datos obtenidos en tiempo. De esta manera se reducirá considerablemente el tiempo en la extracción de petróleo lo cual implica, mayor productividad, y menores costos.

Este prototipo también permitirá reducir el riesgo laboral del técnico, ya que se automatizará este procedimiento.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Diseño y desarrollo de un prototipo para transmitir parámetros de perforación, en tiempo real utilizando LPWAN en un pozo petrolero.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Analizar la problemática y las diferentes tecnologías LPWAN para la transmisión de información en tiempo real.
- Comparar las diferentes técnicas de transmisión para definir la más eficiente que se ajuste a la solución.
- Implementar el prototipo de transmisión de parámetros de perforación y la red para el envío de datos para posteriormente visualizarlos en paneles ubicados fuera del área de riesgo laboral.
- Realizar pruebas de funcionamiento del prototipo

2. CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Principales tecnologías IoT

Los tipos de redes inalámbricas más comunes hoy en día son Bluetooth, usado normalmente en redes de área personal, Wi-Fi, para redes de área local, y redes celulares como 2G, 3G, 4G-LTE para redes de área amplia. En la actualidad, se están desarrollando nuevos tipos de redes como son las redes de baja potencia y de área amplia Low-Power Wide-Area Network (LPWAN), las cuáles se proyectan como una alternativa sólida para soportar una parte importante de los miles de millones de dispositivos previstos para el Internet de las Cosas.

El concepto de Internet de las cosas o IoT hace referencia a una red en la que una serie de objetos inteligentes interconectados generan continuamente datos y los transmiten a través de Internet. Sin embargo, debido a la heterogeneidad de los sistemas, una única tecnología no puede servir a todas las aplicaciones y volúmenes de dispositivos proyectados para IoT. Wi-Fi y Bluetooth Low Energy (BTLE) son estándares ampliamente adoptados y sirven para las aplicaciones relacionadas con la comunicación de dispositivos personales y la tecnología celular es de gran utilidad para aplicaciones que necesitan un alto rendimiento de datos y tienen una fuente de alimentación. (Viñas, 2018, p. 8)

Si bien es cierto que hemos sobrevivido hasta ahora con las ya existentes tecnologías WSN (Wireless Sensor Networks) como ZigBee, Bluetooth, o incluso Wi-Fi (tecnologías de corto alcance), el foco principal de las tecnologías M2M (Machine to Machine) es acoger el inmenso crecimiento del número de dispositivos que las forman y el crecimiento de las áreas de funcionamiento de las redes. (Viñas, 2018, p. 9)

2.1.1. IEEE 802.15.4

Es un estándar que define las capas físicas y de enlace para Redes Inalámbricas Personales de Baja Tasa de Transmisión. Entre sus principales características está el soporte de bandas sin licencia (868 MHz, Europa; 928 MHz, Norte América; 2.4 GHz, mundial). Ofrece tasas de datos de hasta 250 kbps y alcances con línea de vista (LOS) de hasta 1000 m. Sobre IEEE 802.15.4 se puede utilizar Zigbee que es una tecnología que ofrece perfiles de comunicaciones y una capa de red.

2.1.2. Bluetooth/LE

Fue originalmente creado para reemplazar inalámbricamente cables de dispositivos que típicamente se conectan entre sí, como teléfonos celulares, computadoras portátiles, dispositivos de audio, teclados, etc. Ofrece bajas

tasas de datos de alrededor de 1Mbps y corto alcance con distancias típicas de 5-10 m con bajo consumo energético. Luego de varias revisiones, en 2016 se presentó Bluetooth 5.0. Esta versión se encuentra sumamente enfocada en IoT. Es completamente compatible con la anterior versión 4.2, aumenta el ancho de banda hasta 2 Mbps, modo de bajo consumo (LE), por sus siglas en Inglés, con alcances de hasta 240 m. (Campos, 2017, p. 8).

2.1.3. IEEE 802.11 ah

Provee un estándar LAN. En comparación a IEEE 802.11 que opera a 2.4 GHz y 5 GHz, IEEE 802.11 ah soporta mayores rangos de transmisión de hasta 1 km a una potencia por defecto de 200 mW. Este estándar puede operar con un ancho de banda de 4 o 7.8 Mbps. Gracias a los nuevos esquemas de modulación y codificación de 802.11 ah se pueden alcanzar tasas de transferencia de cientos de Mbps. (Campos, 2017, p. 8).

2.1.4. Sigfox

Fue la primera tecnología LPWAN propietaria, propuesta para el consumidor. Su capa física utiliza una modulación de banda ultra estrecha (UNB). Teóricamente cada Gateway Sigfox puede soportar hasta un millón de dispositivos conectados con un área de cobertura de 30-50 km en entornos rurales y 3-10 km en áreas urbanas. Cada nodo puede enviar hasta 140 mensajes por día, a una tasa de datos de hasta 100 bps. (Campos, 2017, p. 8).

2.2. Redes área amplia de baja potencia (LPWAN)

2.2.1. Definición

Las LPWAN son una colección de tecnologías celulares de banda estrecha que alcanzan grandes distancias con dispositivos IoT, en el rango de kilómetros con línea de vista. La atención se centra en los paquetes muy pequeños y la

potencia muy baja, lo que permite a los dispositivos comunicarse con pasarelas o estaciones base a largas distancias (Bernardi, Sarma, & Traub, 2017).

LPWAN se utiliza ampliamente para la comunicación en el ecosistema de IoT. Estas tecnologías son superiores en comparación con Bluetooth y Bluetooth de Baja Energía (BLE) para la comunicación Machine to Machine o Máquina a Máquina (M2M) debido a su costo de efectividad y bajo consumo de energía. La tecnología LPWAN es ideal para conectar dispositivos que envían pequeñas cantidades de datos a un largo alcance con la eficiencia de la batería. Un ejemplo ideal de dispositivos que entran en esta categoría son los sensores, que se utilizan para transmitir datos dentro de hogares inteligentes, edificios, sistemas de estacionamiento, entre otros (Raj & Raman, 2017).

La mayoría de las tecnologías de LPWAN operan en bandas sin licencia mientras utilizan anchos de banda estrechos. Las velocidades de datos ofrecidas varían según las tecnologías, desde varios bits por segundo (bps) hasta varios cientos de kilobit por segundo (kbps). Sus rangos de cobertura pueden ser de hasta varios kilómetros, lo que permite cubrir áreas muy grandes con un número limitado de AP. Estas soluciones pueden lograr un bajo consumo de energía a la vez que mantienen un bajo costo de hardware al presentar funcionalidades simplificadas. Por ejemplo, un dispositivo final puede no requerir el establecimiento de un enlace y el traspaso en una red. Puede enviar datos sin establecer un enlace. Los datos pueden ser recibidos por varios AP y se entregan al servidor basado en la nube. El servidor filtra los mensajes recibidos redundantes. Otro ejemplo es el soporte de la comunicación de un solo salto que es fácil de implementar, sin requerir una sincronización precisa. En algunos casos, la latencia de la transmisión en la descarga se relaja, lo que permite que un dispositivo permanezca en el modo de suspensión la mayor parte del tiempo. Las funcionalidades simplificadas permiten que un dispositivo alimentado por batería funcione durante varios años (Sun, Wang, & Ahmad, 2018).

2.2.1.2. Características y aplicaciones

Los mecanismos de acceso al medio usados en LPWAN muestran como características ser más ligeros computacionalmente en comparación con los utilizados en las redes celulares o redes inalámbricas de corto alcance. La complejidad tecnológica en las redes LPWAN no se desarrolla en los dispositivos finales, sino en las estaciones base porque estos son quienes deben emitir la señal y extraer los datos el dispositivo final so recepta la señal enviada por la estación base. Entre las diferentes tecnologías LPWAN se destacan Sigfox y LoRaWAN utilizan protocolos basados en ALOHA, al protocolo de control de acceso al medio (MAC) es aleatorio al medio en el que los dispositivos finales sin detección de portadora. La simplicidad de ALOHA conserva el diseño del transceptor RF simple y de bajo costo. Otras como INGENU e Internet de las Cosas de Banda Estrecha (NB – IoT) consideran otros protocolos MAC basados en TDMA, para la asignación de recursos de radio de forma eficiente, pero que tienen mayor costo y complejidad (Dobato, 2018).

También se puede considerar como comunicación de largo alcance: capacidad para soportar nodos que son mayores o iguales a 10 km de distancia de la puerta de enlace. Baja velocidad de transmisión de datos: se envían menos de 5000 bits de datos por segundo. A menudo solo se envían de 20 a 256 bytes por mensaje varias veces al día. Bajo consumo de energía: Esto proporciona una duración de batería muy larga para los dispositivos. Muchas veces, la duración de la batería puede durar hasta 10 años (Raj & Raman, 2017).

La tecnología LPWAN es ideal para los siguientes dos tipos de aplicaciones

- Conexiones fijas, de densidad media a alta: se utiliza principalmente en ciudades y edificios como una opción alternativa para comunicaciones celulares. Algunos ejemplos comunes son redes inteligentes, sistemas de

seguimiento de activos basados en GPS y sistemas de iluminación inteligentes

- Aplicaciones de larga duración, alimentadas por batería: para aplicaciones que requieren un largo alcance. Algunos ejemplos son medidores de agua, detectores de gas, sistemas agrícolas inteligentes, entre otros (Raj & Raman, 2017).

Muchos países establecen regulaciones estrictas sobre la utilización de bandas sin licencia en términos de potencia radiada efectiva (ERP), ciclo de trabajo y mecanismo de acceso. Estos pueden limitar la velocidad de transmisión, el tamaño del mensaje y la cantidad de mensajes que se pueden enviar durante un período de tiempo. Otro desafío está relacionado con el rendimiento del enlace asimétrico en las direcciones de enlace ascendente y enlace descendente, impuesto por la limitación de ERP que se aplica en la salida de la antena. Las ganancias de la antena para los AP son significativamente mayores que para los dispositivos, lo que resulta en un mejor rendimiento en la dirección del enlace ascendente. En consecuencia, la red no puede controlar efectivamente los dispositivos ya que la información de control se entrega en el enlace descendente con un rendimiento deficiente. Para superar estas barreras, algunas de estas tecnologías, como Sigfox y Weighthless, están involucradas en actividades de estandarización para obtener espectro con licencia para las implementaciones de red (Sun, Wang, & Ahmad, 2018).

2.2.2. Definición

IoT se relaciona con dos ideas, la existencia de objetos que son capaces de interactuar con el entorno y la capacidad de comunicarse de manera remota. Otorgar de conectividad a los objetos para el intercambio de información útil y valiosa, que puede usarse con un objetivo definido. Los objetos, al lograr comunicación, tienen la capacidad de colaborar entre ellos, para determinar una cadena de producción. La división del trabajo donde cada uno efectúa su parte individual y se complementan para cumplir un objetivo, servicio común o aplicación (Munera, 2018).

El IoT ha progresado a partir de la convergencia de una serie de tecnologías que se han cambiado y progresado desde su inicio. Los objetos tienen conexión a Internet en cualquier momento y lugar. Una definición técnica, la menciona como la integración de sensores y dispositivos dentro de los objetos comunes que se encuentran enlazados a Internet a través de redes inalámbricas o estables. Además, IoT implica que todo elemento puede ser fuente de datos. Esta tecnología ha cambiado la manera de efectuar negocios, la organización de empresas del sector público y la vida diaria de millones de personas (González, 2017). Se relaciona a una serie de dispositivos y sistemas que interconectan los sensores y actuadores del mundo real a Internet para virtualizarlos. Al hablar del IoT, existen dos aspectos clave que se destacan son: Los propios dispositivos y la arquitectura *server-side* que los soporta (Barberà, 2016).

Paradigma tecnológico estas tareas y muchas otras se pueden resolver con la ayuda de IoT. IoT establece diferentes requisitos para los dispositivos: deben funcionar con menos memoria, menos capacidad de procesamiento y menos ancho de banda en comparación con los modelos tradicionales (Galinina, Andreev, Balandin, & Koucheryavy, 2017).

2.2.2.1. Arquitectura de IoT

Se han propuesto distintas arquitecturas para IoT, no existe todavía un consenso general, investigaciones recogen con mayor o menor detalle los aspectos principales.

Una de las arquitecturas más básicas es la denominada de tres niveles presentada en la Figura 2 (González, 2017). Que incluye los niveles:

- Nivel de percepción la cual está conformada por los distintos sensores, los cuales tienen la función de recolectar información del ambiente en el que se encuentren

- Nivel de red, como su nombre lo dice es el nivel encargado de realizar la conexión entre dispositivos de red o servidores
- Nivel de aplicación es la encargada de solventar o brindar los servicios requeridos por el usuario. En el caso específico de este proyecto este tiene la función de presentar los valores de perforación.

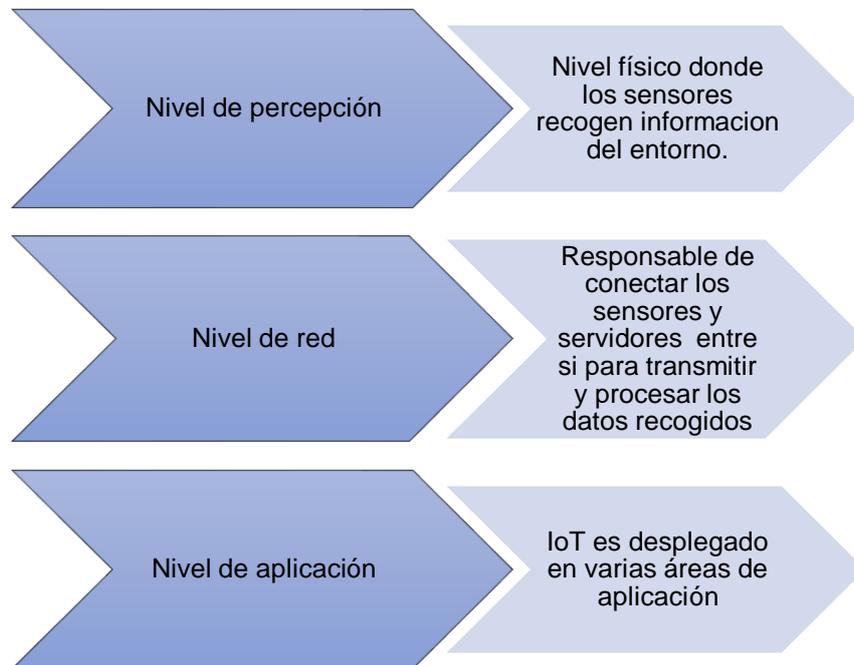


Figura 1. Arquitectura de tres niveles

Adaptado de (González, 2017)

La arquitectura de cinco niveles se encuentra formada por los niveles de percepción, transporte, proceso, aplicación y nivel de negocio. En esta arquitectura los niveles de percepción y aplicación tienen las mismas funciones que los de arquitectura de tres niveles.

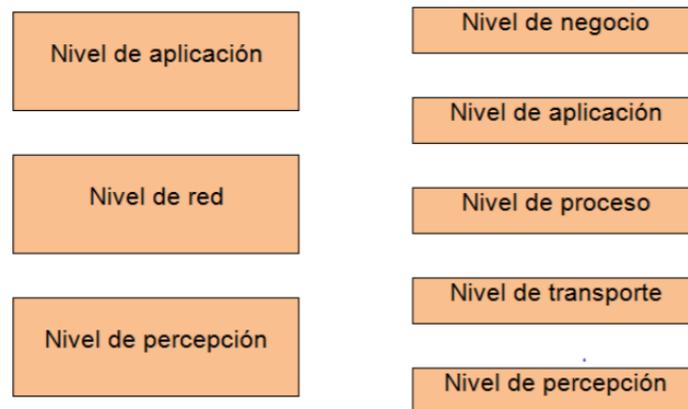


Figura 2. Arquitectura de tres y 5 niveles

Tomado de (González, 2017)

El nivel de transporte es aquel que transfiere los datos de los sensores mediante redes 3G, LAN, Bluetooth, Identificación por radiofrecuencia (RFID) y *Near Field Communications* (NFC), desde el nivel de percepción al nivel de proceso y viceversa.

El nivel de proceso almacena, analiza y procesa grandes cantidades de información y datos que proceden del nivel de percepción. Facilita y gestiona servicios, los niveles bajos utilizan tecnológicas de base de datos *cloud computing* y *big data*.

El nivel de negocio gestiona las aplicaciones, el modelo de negocio y la privacidad.

Existen otras arquitecturas que se adaptaran a los aspectos más concretos de la IoT, dependerán del tipo de diseño, su finalidad y el servicio que brindaran.

2.2.2.2. Dispositivos utilizados en IoT

El IoT tiene tres clases de dispositivos:

- Dispositivos de 8 bits, estos son los más pequeños, este tipo de dispositivos por lo general no tienen Sistema Operativo (SO) se los denomina System on Chip (SOC). Como por ejemplo Arduino Uno.
- Dispositivos de 32 bit, como los chips de Atheros y ARM. Estos suelen incluir routers domésticos pequeños y derivados de los mismos. Estos dispositivos en algunos casos no suelen tener SO. Ejemplo: Arduino Yun y Arduino Zero
- Dispositivos de 32 y 64 bits, se los denomina sistemas completos, estos tienen la capacidad de operar con algunos SO, entre estos los más utilizados son: Windows, Android, Linux. La mayoría de estos dispositivos suelen ser teléfonos inteligentes o dispositivos que se basan en tecnologías móviles. Ejemplo: Raspberry Pi BeagleBone.

La Figura 4 muestra los modelos de conectividad más comunes, que cuenta con diferentes formas, equipos y estructuras.

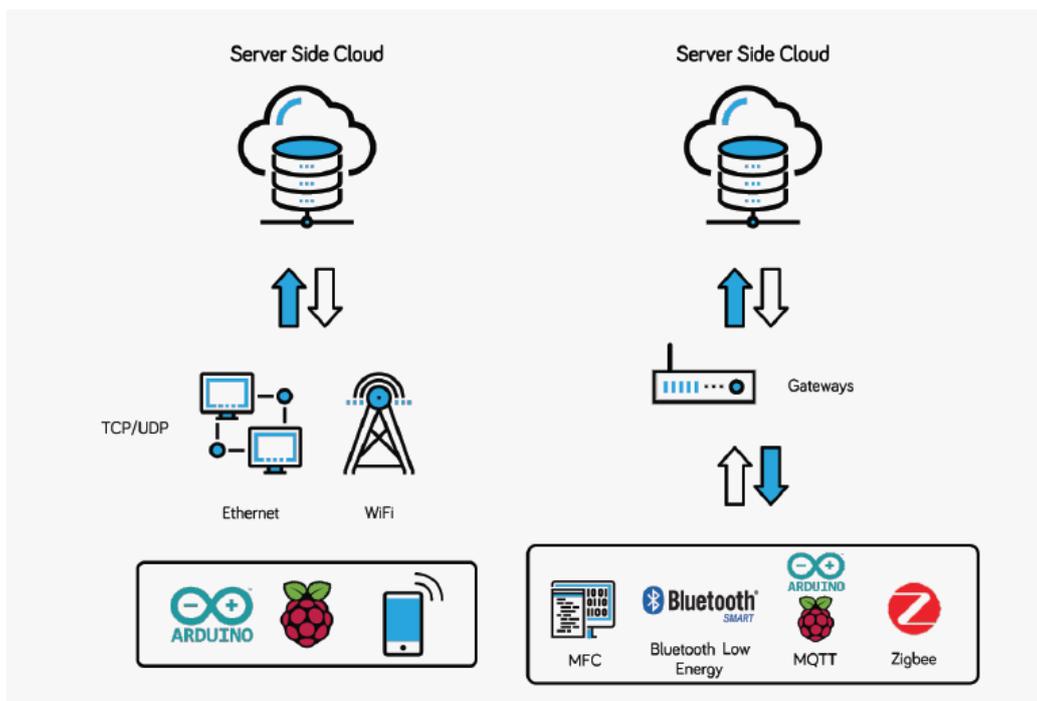


Figura 3. Modelos de conectividad

Tomado de (Barberà, 2016)

2.2.3. LoRa y LoRaWAN

2.2.3.1 Definición

LoRa (Long Range), es una de las tecnologías de IoT de área amplia más prometedora propuesta por Semtech y promete aún más por la Alianza LoRa. ha definido la arquitectura de red en la parte superior de las capas físicas de LoRa y las ha denominado LoRaWAN. LoRaWAN se destina principalmente a dispositivos IoT que operan hasta diez años solo con alimentación de batería en implementaciones regionales, nacionales o globales. La intención de LoRaWAN es proporcionar servicios seguros de comunicación bidireccional, movilidad y localización sin GPS. LoRa apunta a implementaciones donde los dispositivos finales tienen energía limitada (por ejemplo, con alimentación por batería), donde los dispositivos finales no necesitan transmitir más de unos pocos bytes a la vez. El tráfico de datos puede ser iniciado ya sea por el dispositivo final (cuando el dispositivo final es un sensor) o por una entidad externa que desea comunicarse con el dispositivo final (cuando el dispositivo final es un actuador) (Galinina, Andreev, Balandin, & Koucheryavy, 2017).

Tabla 2.

Parámetros de LoRaWAN

DR	Configuración	Velocidad física de bits [bit / s]	Sensibilidad del receptor, dBm	Distancia, km
0	SF12/125 kHz	250	-137	0-2
1	SF11/125 kHz	440	-134.5	2-4
2	SF10/125 kHz	980	-132	4-6
3	SF9/125 kHz	1760	-129	6-8
4	SF8/125 kHz	3125	-126	8-10
5	SF7/125 kHz	5470	-123	10+

Adaptado de (Galinina, Andreev, Balandin, & Koucheryavy, 2017).

Como se muestra en la tabla 2, los dispositivos finales pueden transmitir a través de cualquier canal disponible en cualquier momento utilizando cualquier

tasa de datos disponible, restringiéndose por la necesidad de implementar saltos de canales pseudoaleatorios en cada transmisión y cumplir con el ciclo de servicio de transmisión máximo. (Galinina, Andreev, Balandin, & Koucheryavy, 2017).

Hay varios modos de trabajo para la especificación de LoRaWAN (para EU868), con la diferencia en la potencia de transmisión. Para un número de valores tx de 1 a 5, la potencia de transmisión es respectivamente igual a 14 dBm, 11 dBm, 8 dBm, 5 dBm y 2 dBm (Galinina, Andreev, Balandin, & Koucheryavy, 2017).

2.2.3.2. Protocolo abierto LoRa.

El protocolo abierto LoRa fue desarrollado por LoRa *Alliance* para la creación de redes LPWAN para el mercado de (IoT). LoRa, define la capa física de modelo de interconexión de sistemas abiertos (OSI) y la modulación inalámbrica Lora de Semtech, para efectuar el enlace de comunicación de larga distancia con transceptores de radio de baja potencia que ayudan a la transmisión de pequeñas cantidades de información a baja velocidad y lograr mayor vida útil de baterías. Esta modulación utiliza la técnica conocida como espectro ensanchado (CSS) para la codificación de múltiples bits por símbolo para empaquetado y corrección de errores. Las LPWAN que utilizan este protocolo se denominan LoRaWAN estas utilizan aplicaciones M2M, por operadores de redes inalámbricas las cuales emplean el espectro sin licencia para la comunicación de dispositivos IoT a través de su red. Una de las ventajas es que aporta incremento considerable de cobertura que las redes inalámbricas celulares que existen en la actualidad, mientras que la desventaja que presenta es que se debe tener necesariamente línea de vista para poder lograr la comunicación (Vega, Lagos, & Salgado, 2017)

Las puertas de enlace de LoRa conectan los dispositivos de radio de LoRa e Internet. Las puertas de enlace LoRa cubren todos los factores de

propagación en cada uno de los canales que admiten. Hay límites en la cantidad de mensajes sobre diferentes factores de difusión que pueden recibir simultáneamente, sin embargo, este límite se puede superar en la práctica agregando más puertas de enlace a la red. Al mismo tiempo, aumentar el número de puertas de enlace en un área geográfica también permite que los dispositivos más cercanos a una puerta de enlace envíen a una tasa de bits más alta a través del ADR. El mecanismo ADR evalúa la relación señal / ruido de un paquete de datos entrantes en la puerta de enlace y luego recomienda un factor de dispersión apropiado para el dispositivo final.

LoRa conoce tres clases de dispositivos diferentes, que definen el modo de suspensión y energía de los dispositivos finales:

A: enlace descendente del sensor solo después del envío.

B: enlace descendente en intervalos de tiempo definidos.

C: enlace descendente continuo.

Los dispositivos de clase A poseen rigurosos requerimientos de uso y eficiencia de energía. La transmisión de enlace descendente es ejecutada en intervalos de tiempo selectivo los cuales son acotados por una serie de ventanas de recepción de los dispositivos finales (Dobato, 2018) . Los dispositivos de Clase B se activan en intervalos de tiempo definidos para evaluar si hay datos para ellos. Los dispositivos de Clase C admiten un enlace descendente continuo, que obviamente tiene un costo de energía y puede que solo sea útil para dispositivos con alimentación principal (Adryan, Obermaier, & Fremantle, 2017). La clase C entrega la mejor latencia de conexión entre dispositivos finales, a cambio de un mayor consumo energético (Ordóñez, 2017)

2.2.4. Arduino

Es un dispositivo electrónico que consiste en una plataforma abierta para la creación de prototipos flexibles de software y hardware fáciles de usar. Sirve para crear entornos u objetos interactivos. La tarjeta Arduino cuenta con pines de salida y de entrada con los que se leen dispositivos que pueden ser señales o parámetros, además puede permitir enviar señales o datos por los pines de salida para usar actuadores digitales o analógicos (Saenz, 2018).

3. CAPITULO III. METODOLOGÍA

3.1 Ámbito de proyecto

La aplicación fue desarrollada con el fin de aportar una alternativa para la adquisición de datos durante la perforación de pozos de producción de petróleo que estén utilizando una bomba electrosumergible de extracción de Marca REDA modelo SN8500 propiedad de la empresa Schlumberger y la toma de datos de fondo se realiza de forma manual a través de un elemento colocado en el carrete de superficie. Para lo cual se desarrolló un prototipo que permitirá transmitir parámetros de perforación a una página web, en tiempo real utilizando la tecnología LPWAN.

El prototipo diseñado podrá ser aplicado en cualquier pozo de perforación en Ecuador, que en la actualidad utilice la bomba de extracción de fluidos marca REDA modelo SN8500 como parte de sus herramientas de fondo.

3.2. Alcance

El presente proyecto de investigación consistió en el diseño de un prototipo a través del cual se extraerá datos relacionados con la perforación de pozos mediante comunicaciones inalámbricas basadas en IoT (LPWAN), adicionalmente la tecnología de electrónica digital permitirá visualizar los datos obtenidos en cualquier interfaz digital (página web) que se disponga para tal fin.

Un sensor es un dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas. La tecnología aplicada para transmitir y recibir la información desde el fondo y hacia la superficie del pozo es fibra óptica del tipo monomodo, con estándares de transmisión de datos, Gigabit Ethernet.

Las variables de instrumentación de los sensores asociado al presente proyecto son: temperatura, presión, desplazamiento, vibración, etc. La magnitudes eléctrica puede ser una resistencia eléctrica (como en una RTD), una capacidad eléctrica (como en un sensor de humedad o un sensor capacitivo), una tensión eléctrica (como en un termopar), una corriente eléctrica (como en un fototransistor), etc.

Los sensores ubicados en fondo del pozo presentan salida de datos analógicos y bus de comunicación serie I2c (Inter-Integrated Circuit), el cual es un protocolo de comunicación digital de dispositivos electrónicos. El sistema arduino presente controladores HW integrados en la MCU. El bus I2C requiere únicamente dos cables para su funcionamiento, uno para la señal de reloj (CLK) y otro para el envío de datos (SDA).

El modulo emisor permitirá observar y analizar estos datos en tiempo real, sin necesidad de detener las operaciones de perforación en las que se utilice una bomba de extracción de petróleo, permitiendo la automatización, monitoreo y control de los diferentes parámetros del sistema y facilitando la toma de decisiones a los operadores de forma inmediata además de reducir costos y disminuir los riesgos existentes en las actividades de perforación.

El prototipo desarrollado será instalado en el carrito de cable ubicado en la boca de perforación de pozo y aprovechará los datos proporcionados por los sensores que se encuentran ubicados en la herramienta en fondo permitiendo la transmisión de la información a distancia (Eck & Ford, 2000).

3.3 Situación actual

Durante la perforación de pozos se utilizan bombas de extracción de fluido ubicadas en fondo estos equipos tienen instalados sensores que permiten medir parámetros operativos tales como presión, temperatura, vibración y profundidad, sin embargo el sistema actual instalado no dispone de la configuración requerida para observar esta información a distancia, lo que implica que los operadores requieren detener las actividades de perforación, acercarse al cabezal de pozo y medir esta información a través de un elemento instalado en el carrito del terminal de comunicación.

Los equipos de perforación y las bombas de extracción de crudo que se utilizan como base del presente proyecto pertenecen a la empresa Schlumberger. Esta empresa ha solicitado el desarrollo del presente proyecto debido en principio a una necesidad imperante de optimizar el proceso de adquisición de data que se lleva a cabo a través de las bombas electrosumergible Marca REDA modelo SN8500, debido al análisis estadístico relacionado a los tiempos de operación; se ha observado que en aquellos pozos perforados en los cuales se utiliza esta tecnología y la adquisición de datos es manual, el tiempo promedio de perforación se ha incrementado un 18%, esto impacta tanto en los costos como en los compromisos de producción establecidos y fechas de entrega del pozo terminado; adicionalmente se realizó una evaluación de riesgos asociado al procedimiento correspondiente a la toma de muestra, observando un incremento del riesgo de incidentes y accidentes para los operadores, que realizan este tipo de actividad, debido a estas razones para la empresa Schlumberger es prioridad automatizar esta adquisición de data.

3.4 Bombas de extracción de crudo

Las bombas electrosumergibles son bombas centrífugas multietapas, su función básica es entregar a los fluidos del pozo, el incremento de presión necesario para hacerlos llegar a la superficie. Cada etapa consiste de un

impulsor rotativo vinculado al eje y un difusor estático vinculado a la carcasa de la bomba, formado de esta manera un conjunto rotor – estator. La bomba centrífuga mueve los fluidos rotándolos, la trayectoria del fluido es una espiral que se incrementa desde la entrada en el centro a la salida tangente al difusor. La rotación de los impulsores provoca el movimiento de fluido que al pasar a través de los difusores aumenta su presión gradualmente llegando a un valor máximo, cuya magnitud determinada por el número de etapas de la bomba, proporciona la presión necesaria para elevar el fluido, (El número de etapas determina la capacidad de levantamiento y la potencia requerida para levantar la columna de fluido).

El impulsor transmite energía cinética al fluido y en el difusor, parte de la energía cinética es transformada en energía potencial (altura) por medio de un incremento del área de flujo. Los fabricantes recomiendan un rango de operación en base a los parámetros empuje y eficiencia. Una bomba operando un gasto superior al de su diseño produce empuje ascendente excesivo y por el contrario operando a un gasto inferior produce empuje descendente (Schlumberger, 2007).

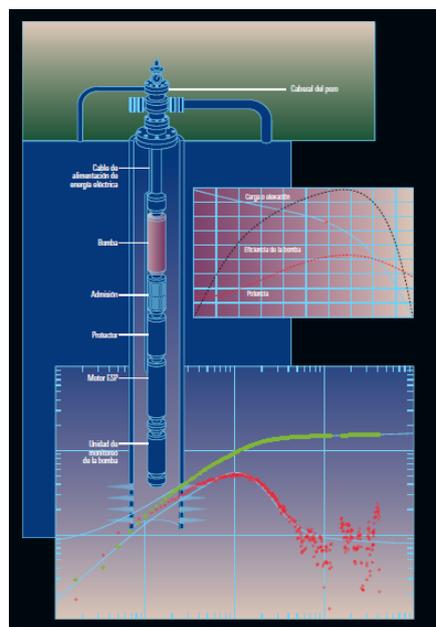


Figura 4. Bombas electro sumergible Marca REDA.
Tomado de (Schlumberger, 2007)

El monitoreo de los yacimientos requiere el uso de sistemas confiables para la adquisición de datos en el fondo del pozo. Los productos basados en ingeniería de alta confiabilidad y pruebas de fallas resultan esenciales para la construcción de sistemas de monitoreo permanente durables y son responsables de un impresionante historial de sensores de instalación permanente en el mundo entero. Estos sensores suministran los datos necesarios, tanto para resolver problemas inmediatos como para la planificación de desarrollos a largo plazo (Eck & Ford, 2000).

3.4.1 Sensor de fondo

Es un dispositivo diseñado para determinar las condiciones reales de trabajo de la bomba y se instala en el extremo inferior del motor. Se conecta al motor de fondo a través de un cable de alimentación y un cable de señal, permite medir la temperatura y la presión manométrica de la columna de fluido en el espacio anular a nivel del fondo del motor eléctrico.

La señal se transmite al indicador digital de superficie a través del mismo cable de potencia de la unidad. Este sensor, no solamente detecta presiones de succión y descarga, también es capaz de interpretar las temperaturas del aceite dieléctrico del motor y de la succión (intake), vibración, corriente de fuga, y flujo (Schlumberger, 2007).



Figura 5. Sensor de Presión y Temperatura
Tomado de (Schlumberger REDA, 2007)

El interés principal de los operadores de estos equipos es que la telemetría inalámbrica con transmisión de datos en tiempo real optimiza las pruebas de pozos, los datos transmitidos en tiempo real permiten al operador verificar el desempeño de los pozos y manejar los episodios inesperados de fondo de pozo.

El proceso de control y adquisición de datos permite obtener información y diagnosticar las condiciones de operación del pozo como:

- Temperatura de fondo del pozo.
- Presión de reservorio.
- Condiciones del equipo en especial para: motor, variador y sensores.
- Rata de flujo, corte de agua, velocidad de bombeo, presión de cabeza, presión de inyección, presión de intake, presión de entrada y salida del separador, caudal de agua de inyección y rata de producción, etc. (Schlumberger REDA, 2007)

Con la información adquirida con el equipo de fondo se realiza un análisis más real del proceso de perforación, en la siguiente gráfica se observa el comportamiento de la variación de presión en tiempo real y en el almacenamiento, se observa que ambos datos varían considerablemente, esto se debe principalmente a que el operador al observar los datos en tiempo real puede tomar acciones de forma inmediata y variar los elementos mecánicos necesario para el cumplimiento del plan de perforación, lo que permite eficiencia y rapidez en la toma de decisiones.

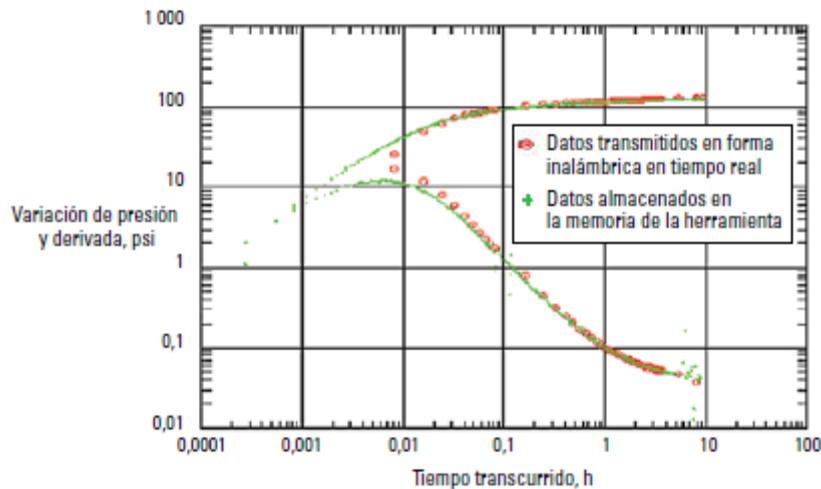


Figura 6. Variación de la presión en la bomba Schlumberger REDA
Tomado de (Schlumberger REDA, 2007)

3.5 Metodología

Para cumplir con el principal objetivo del proyecto se aplicó la metodología de desarrollo basada en prototipos. Esta metodología permitió dividir las actividades en etapas las cuales se describen a continuación:

3.5.1 Identificación de requerimientos básicos

El primer paso para el desarrollo del prototipo fue la identificación del problema y el objetivo de encontrar una solución práctica, económica y con tecnología accesible. En esta etapa se procedió a describir el problema existente con la toma de datos en los pozos de perforación cuando se utiliza la bomba de extracción de petróleo, lo cual en la actualidad se requiere detener la actividad de perforación para la captación de información de fondo, a partir de la problemática existente se determinaron los objetivos y se establecieron las pautas de trabajo en general.

Posteriormente se continuó con la caracterización los requerimientos necesarios para el desarrollo del prototipo funcional. Se establecieron las

funcionalidades requeridas para solventar el problema y que represente una solución posible. Se identificaron los materiales y dispositivos requeridos para el diseño del prototipo.

3.5.2 Evaluación de LoRa y LoRaWAN para redes de sensores inalámbricos

LoRa es una nueva tecnología inalámbrica de banda ISM diseñada para aplicaciones de bajo consumo, sin licencia y de largo alcance. LoRaWAN es un protocolo de red de área extensa que incorpora tecnología LoRa a una infraestructura en red. El rendimiento en interiores y exteriores de estas tecnologías, la capa física inalámbrica y multi-gateway amplia red. Los estudios han indicado que esta tecnología puede ser un enlace fiable para aplicaciones de teledetección de bajo costo. (Triana & Rodríguez, 2018, p. 12)

3.5.3 Diseño del prototipo inicial

En esta fase se analizó el diseño de la red LPWAN para envío de datos en tiempo real y su almacenamiento en una base de datos. Se seleccionó la red más eficiente para el entorno en el cual el prototipo funcionará. Los sensores y los módulos serán probados en campo para comprobar que la conexión, la distancia de separación y transmisión de datos entre los dispositivos sea correcta.

3.5.4 Implementación del prototipo

En esta fase, se implementó el prototipo con sus correspondientes módulos LoRaWAN, el controlador y su respectivo código cargado previamente. Se seleccionó una plataforma a través de la cual se visualice los datos que se capturen a través de sensores, considerando la opción que esta información registrada sea observable desde cualquier lugar, considerando la transmisión en la frecuencia y distancia óptimas de comunicación.

Se realizó la verificación y corrección para determinar si existe variación o pérdida de los datos obtenidos lo que permitirá para asegurar el correcto funcionamiento del prototipo una vez implementado, de igual forma se determinó el tiempo de recolección de la data que aporta la bomba de fondo REDA modelo SN8500 para lo que se estableció el tiempo de operación de un (1) minuto, principalmente debido a las características de la bomba, la cual gira a bajas velocidades lo que genera que los parámetros captados de presión, temperatura y vibración no presenten grandes variaciones en ese periodo de tiempo, además obtener data en periodo de tiempo menores, disminuirá la capacidad de los equipos gestionando información irrelevante y sin variaciones representativas.

Una vez elegidos los módulos y desarrollado el prototipo se procedió a realizar pruebas de campo, debido a que no se logró concretar las pruebas como estaba estipulado en un pozo se procedió a realizarlas simulando el ambiente de trabajo y cumpliendo el objetivo final que consiste en validar el funcionamiento del prototipo desarrollado.

Durante las etapas anteriormente identificadas se compilo los avances y resultados obtenidos, de igual forma se consideraron las referencias bibliográficas estudiadas y se prosiguió a la redacción de un informe en el que se estipulo detalladamente el desarrollo y las pruebas aplicadas al prototipo propuesto.

3.6 Resultados esperados

Para lograr el cumplimiento de los objetivos establecidos en el presente proyecto se deberán alcanzar los siguientes resultados:

- 1.- Generar una propuesta viable para la automatización, monitoreo y control de los diferentes parámetros de perforación sin necesidad de detener las actividades de los equipos.

- 2.- El diseño de un prototipo que permita la transmisión de parámetros de perforación a una página web, en tiempo real utilizando LPWAN.
- 3.- Pruebas de campo que soporten la eficiencia del prototipo diseñado.

3.7 Elementos diferenciadores o innovadores

Los elementos diferenciadores o innovadores que se consideraron durante el desarrollo del presente proyecto son los siguientes:

- 1.- El uso de una tecnología emergente como lo es las comunicaciones inalámbricas basadas en IoT (LPWAN).
- 2.- Optimizar la toma de decisiones en actividades fundamentales como lo es la perforación de pozos, la cual impacta en la economía de la nación.
- 3.- Emplear dispositivos de bajo costo para disponer de una alta rentabilidad en el proyecto y tecnología de punta que permita un largo alcance para la transmisión de datos.
- 4.- Aplicación de módulos de presenten bajo consumo de energía.

4. CAPITULO IV. DISEÑO DE LA RED

4.1. Descripción breve del problema

El Internet de las cosas (IoT) representa un impacto en las actividades cotidianas, su aplicación es variada y ha personificado la solución a una multiplicidad de inconvenientes, en el desarrollo del presente proyecto se utilizó esta tecnología innovadora para solucionar el problema que presentaba para el personal que labora para la empresa Schlumberger la adquisición de datos aportados por la bomba electrosumergible de extracción de crudo Marca REDA modelo SN8500, para lo cual en la actualidad, debe detenerse la operación del equipo de perforación para que el personal se cerque de manera segura a la boca del pozo y así obtener la información que transmite los sensores que se encuentran instalados en la bomba.

El personal operativo se encuentra relativamente cerca del pozo durante las operaciones de perforación por lo que la distancia requerida para la transmisión de datos es corta, la data a adquirir debe ser recolectada cada minuto dado que por las condiciones de operación de la bomba no se requiere capturar esta información en menores periodos de tiempo y por último se requirió que la información se observará a través de una página web. Los datos recolectados de los sensores se podrán observar por los operadores ya sea vía una aplicación web o móvil, como aplicaciones indirectas, se podrán presentar graficas de los valores de perforación a fin de tomar decisiones más acertadas y en forma más eficiente.

En el presente trabajo se desarrolló un dispositivo para la trasmisión mediante comunicación inalámbrica de datos que aporta la bomba instalada en fondo de pozo. Para el desarrollo del prototipo se requiere una tecnología que cumpla como mínimo con las siguientes características:

- Cobertura amplia
- Bajo coste
- Larga duración de batería

En términos globales las tecnologías de conectividad de información actuales se divide en:

Largo alcance: Modem celular.

Corto alcance: Bluetooth, WiFi, Zigbee, etc.

Los modem celulares tradicionales son utilizados en servicios o actividades que aporten un alto retorno sobre la inversión, dado que son dispositivos altamente costosos adicionalmente presentan un alto consumo de energía por un largo periodo de tiempo, por lo que al ser utilizado por largos periodo de tiempo, se requiere el uso de varias baterías o recargar el sistema constantemente.

4.2 Comparar las diferentes Tecnologías asociadas al IoT

En base a lo anteriormente expuesto, se han seleccionado algunos parámetros de análisis para permitir una mejor identificación y evaluación de las tecnologías que se asocian a la IoT, a fin de determinar la mejor alternativa para el desarrollo del presente proyecto. Las variables a comparar son: alcance; estándar, consumo de energía, seguridad, escalabilidad, costos, capacidad y topología. En el siguiente cuadro se muestran las características evaluadas de las tecnologías:

Tabla 3.

Comparación de tecnologías para servicio IoT

Tecnología	Alcance	Banda de Frecuencia	Estándar	Consumo de Energía	Seguridad	Escalabilidad	Capacidad	Costo	Topología
RFID	10 cm- 200 m	125 - 134 KHz (LF), 13,56 MHz (HF), 433 MHz, 865 - 956 MHz y 2,45 GHz	ISO 18000	Bajo	Baja	Alta	400 Kbps	Bajo	P2P
NFC	< 0,2m	13,56 MHz	ISO/IEC 18000-3 ISO/IEC 14443	Bajo	Baja	Alta	400 kbps	Bajo	P2P
Zigbee	10 – 20 m	2,4 GHz, 868 MHz y 900 MHz	802.15.4	Bajo	Alta	65000 nodos	250 kbps	Medio	Árbol Estrella, Malla
LTE	Variable, depende de la red celular	700 MHz - 2,7 GHz		Alto	Alta	-	300 Mbps	Alto	Red Celular
Wi-Fi	32 m interior es- 95 m exteriores	2,4 GHz	802.11	Alto	Alta	Alta	150 -600 Mbps	Medio	Estrella
Z-Wave	36 m - 100 m	908,40 MHz y 916 MHz	UIT-t G:9959	Bajo		232 nodos	100 Kbps	Bajo	Malla
WeightlEss (LPWAN)	2 Km	1 GHz		Bajo	Alta		200 bps 100 Kbps	Alto	Red Celular

Tomado de: El auto (2019).

La tecnología LPWAN, es un tipo de tecnología que resiste en los contextos a través de los cuales se necesita enviar pocos datos en áreas amplias y se requiere que la vida de la batería dure largos periodo de tiempo.

En función de la comparativa de las principales tecnologías, LPWAN ofrece ventajas con respecto a otro tipo de redes de baja tasa de datos, entre los principales beneficios se encuentran bajo consumo de energía, bajo costo y largo alcance (transmisión superiores a 1 km), esto permite habilitar mayor cantidad de aplicaciones que pueden estar limitadas por el radio de cobertura del transceptor, esta tecnología trabaja con anchos de banda mucho más angostos y una menor tasa de bits.

Las tecnologías LPWA representan la respuesta de la industria a la creciente necesidad del mercado de una conectividad barata y de bajo ancho de banda para aplicaciones IoT que no son adecuadas para opciones inalámbricas de corto alcance como Bluetooth o ZigBee.

Aquí es donde las redes LPWAN cobran un papel muy importante, permitiendo la conectividad de hasta un rango de 15 kilómetros. En este trabajo se propone evaluar la tecnología LPWAN para una aplicación de transmisión de datos desde la superficie del pozo hasta la ubicación del personal operador.

Con el presente proyecto se espera contribuir a demostrar que las tecnologías LPWAN pueden jugar un papel muy importante en aplicaciones de adquisición de baja tasa de datos, como puede ser la información de presión, temperatura, vibración que aporta la bomba durante la perforación de los pozos.

4.3 Comparativa de los protocolos para la tecnología LPWAN

Para desarrollar la comparativa de los protocolos, se resumieron las variables cuantificables con el fin de identificar las ventajas y desventajas de cada una, las variables seleccionadas son la capacidad de envío de datos, rangos de

cobertura, eficiencia energética, coste y seguridad. Los principales protocolos asociados a la tecnología de red LPWAN son NB-IoT, LTE-M, Sigfox y LoRaWAN.

4.3.1 Capacidad

Se evaluaron las velocidades máximas de comunicación ascendente y descendente así como las limitaciones de envío de cada protocolo.

Tabla 4.

Capacidad de las tecnologías asociadas a LPWAN

Tecnología	Sentido descendente	Sentido ascendente	Limitación mensajes
NB-IoT	250 kbps	250 kbps	No
LTE-M	1 Mbps	1 Mbps	No
Sigfox	600 bps	100 bps	Si
LoRaWAN	50 kbps	50 kbps	Si

Según la tabla Sigfox representa la opción de menor velocidad con respecto a las restantes tecnologías, y LTE-M la que posee una mayor capacidad. En lo que respecta al envío de información, las tecnologías Sigfox y LoRaWAN operan en bandas ICM, por lo que deben cumplir un ciclo de trabajo el cual es 1% para Sigfox, en los que existe un máximo de mensajes a enviar y 10% para LoRaWAN en cuanto a las tecnologías NB-IoT y LTE-M estas no están restringidas e cauto a la cantidad de información o tiempo en el aire.

4.3.2 Cobertura

Esta variable se analizó considerando en primer lugar la máxima atenuación compensable y la longitud de cobertura la cual dependerá del entorno.

Tabla 5.

Cobertura de las tecnologías asociadas a LPWAN

Tecnología	MCL	Longitud	
		Urbano	Rural
NB-IoT	164 dB	10 – 15 km	
LTE-M	155 dB	10 – 15 km	
Sigfox	158 dB	3-10 km	20-50 km
LoRaWAN	157 dB	2-5 km	10-15 km

La tecnología UNB que utiliza la tecnología de Sigfoxle permite obtener la cobertura a pesar de tener una baja potencia de emisión.

4.3.3 Consumo energético

Para esta comparativa se analizó el consumo energético de las tecnologías con 150 dB de atenuación compensable, considerando la potencia de emisión y el hardware utilizado.

Tabla 6.

Consumo energético de NB-IoT, Sigfox y LoRaWAN

Tecnología	Consumo energético (Envío de 12 Bytes)
NB-IoT – Quectel BC95 B8, TX 23dBm, LB 154 dB	7,74 mW/byte
Sigfox – Chip set STM S2-LP, TX 14 dBm, LB 154 dB	33 mW/byte
LoRaWAN – Acsip S75S incl. 0 repetitions, TX 14 dBm, LB 151 dB	15,47 mW/byte

Por lo general se considera que las tecnologías LoRaWAN y Sigfox presentan una mejor eficiencia en consumo energético en comparación con las tecnologías que provienen de LTE.

4.3.4 Coste

Se evaluó el precio aproximado de los módulos que intervienen en los dispositivos para el envío de información.

Tabla 7.
Coste en tecnologías asociadas a LPWAN

Tecnología	Consumo energético (Envío de 12 Bytes)
NB-IoT	7 - 12 \$
LTE-M	10 - 15 \$
Sigfox	5 - 10 \$
LoRaWAN	9 - 12 \$

La tecnología LTE-M presenta los módulos de comunicación más caros se debe principalmente a la capacidad de envío, siendo Sigfox la opción con los módulos más económicos.

Como referencia en la selección de la tecnología sabemos que en aquellos casos en el que necesitemos transmitir información en distancias muy cortas podemos utilizar Zigbee o WiFi, mientras que para aplicaciones en las que las distancias entre dispositivos son del orden de decenas de kilómetros, elegiremos Sigfox o Lora o cualquier otra tecnología LPWA.

En función de las comparativas realizadas se utilizó la tecnología LoRa que dispone de una red estrella, lo que permite que los mensajes provenientes de los dispositivos finales se dirijan directamente hacia el coordinador de la red, además permite enviar información por largas distancias gracias a su esquema de red, adicionalmente no requiere mecanismos de traspaso, y esta tecnología promete un bajo consumo de energía.

El protocolo y la arquitectura de red influyen en la duración de la batería de un nodo, la capacidad de la red y la calidad del servicio.

El principal inconveniente de LoRa es la baja tasa de datos, esto se debe a que en principio no se diseñó para aplicaciones como tele monitoreo, sin embargo, en el presente proyecto el volumen de datos es bajo por lo que esta aplicación cumple con los requisitos establecidos.

4.4 Materiales y dispositivos requeridos para el prototipo.

A continuación, se muestra en la Figura 5 el diseño de red que se planteó para este proyecto donde se puede apreciar la bomba de extracción de petróleo, el Carreto del conductor que está conectado al sensor, por el cual se transportaran los datos hacia el módulo emisor. Del otro lado se encuentra el módulo receptor el cual muestra los datos transmitidos inalámbricamente mediante LoRaWAN por el módulo emisor. También se ha graficado una radio base la cual hace posible la conexión internet, esta conexión permite enviar la información recolectada a una base de datos. De esta manera si una persona que no se encuentra físicamente en la plataforma de extracción de petróleo y desea obtener la información transmitida solo debe conectarse al servidor de la base de datos mediante una comunicación de internet.

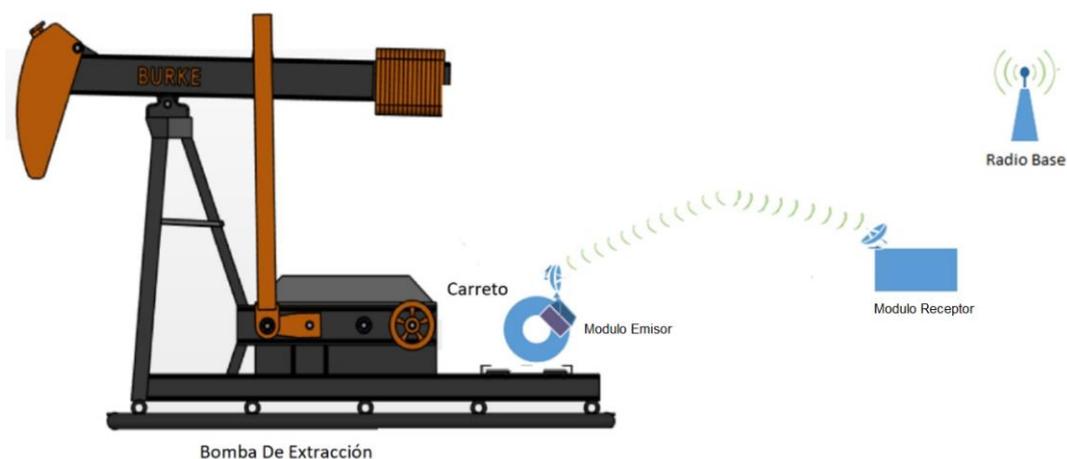


Figura 7. Diseño de Red.

Adaptado de (Grabcad, s.f.)

4.5. Descripción de Seeeduno LoRaWAN

Seeeduno LoRaWAN es una placa de desarrollo Arduino con el protocolo LoRaWAN incorporado, a través del cual se puede comenzar a experimentar la ventaja de LoRa en el campo de IoT. Basado en el módulo de comunicación RHF76-052AM. Seeeduno LoRaWAN es compatible con LoRaWAN clase A / C y posee una banda dual que esta entre los intervalos de 434 / 470MHz y 868 / 915MHz de frecuencia. Los 4 conectores Grove estándar incorporados permiten que Seeeduno LoRaWAN se conecte con cientos de sensores y actuadores Grove de Seeedstudio de manera conveniente, por lo que los usuarios pueden concentrarse más en la aplicación sin preocuparse por el problema de compatibilidad entre los diferentes módulos. Además, la tarjeta ha incorporado un chip integrado de gestión de la batería de litio que permite que la tarjeta se cargue mediante la interfaz USB. En el modo de bajo consumo, una batería de litio con carga completa puede alimentar la placa durante varios meses (Seeed Technology, 2018).

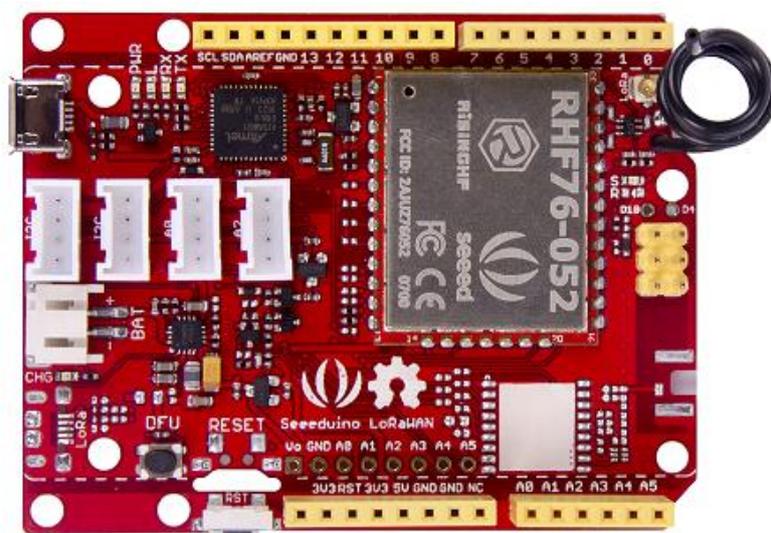


Figura 8. Seeeduno LoRaWAN

Adaptado de (Seeed Technology, 2018).

4.5.1 Características

- Corriente mínima (batería lipo 3.7V) - 2mA
- Corriente mínima (batería lipo de 3,7 V y quitar PWR LED) - 80 uA

Arduino / Procesador.

- ATSAM21G18 @ 48MHz con lógica / potencia de 3.3V
- Compatible con Arduino (basado en el cargador de arranque Arduino Zero)
- Integrado con chip de administración de batería de litio e indicador de estado.
- 20 GPIOs
- 4 conectores Grove integrados
- 18 x pasadores PWM
- 6 x entradas analógicas
- 1 x salida analógica (A0)
- Regulador 3.3V con salida 200mA
- Botón de reinicio

LoRaWAN / RHF76-052

- 1.45uA corriente de reposo en modo WOR (especificación de los módulos, no de la placa)
- Alto balance de enlace, de 160dB. Sensibilidad de -140dBm y potencia de salida de 19dBm.
- Banda dual, 434 / 470MHz y 868 / 915MHz
 - ✓ 19dBm @ 434MHz / 470MHz
 - ✓ 14dBm @ 868MHz / 915MHz
- Compatible con el protocolo LoRaWAN, Clase A / C
- Comunicación de largo alcance ultra
- Ultra bajo consumo de energía.
- Actualización de firmware
- Tamaño pequeño: 23 mm x 28 mm con paquete SMT de 33 pines

4.5.2 Especificaciones

La tabla 3 muestra las especificaciones de la placa seeeduino LoRaWAN proporcionadas por el fabricante.

Tabla 8

Especificaciones de Seeeduino LoRaWAN

Ítem	Valor
Microcontrolador	ATSAMD21G18, ARM Cortex M0 + de 32 bits
Tensión de funcionamiento	3.3V
Pernos digitales de E / S	20
PWM Pins	Todos menos los pines 2 y 7
UART	2 (Nativo y Programación)
Clavijas de entrada analógica	6 canales ADC de 12 bits
Pernos de salida analógica	1, DAC de 10 bits
Interrupciones externas	Todos los pines excepto el pin 4.
Corriente DC por Pin de E / S	7 mA
Memoria flash	256 KB
SRAM	32 KB
EEPROM	Ninguna
Velocidad de reloj	48 MHz
Longitud	68 mm
Anchura	53 mm
Peso	19.6g (sin GPS), 19.9 (con GPS)

Adaptado de (Seeed Technology, 2018)

4.6 Descripción general del hardware

4.6.1 Hardware Seeeduino LoRaWAN

A continuación, se muestra la Figura 7, donde se enumeran todos los elementos de la placa Seeeduino LoRaWAN.

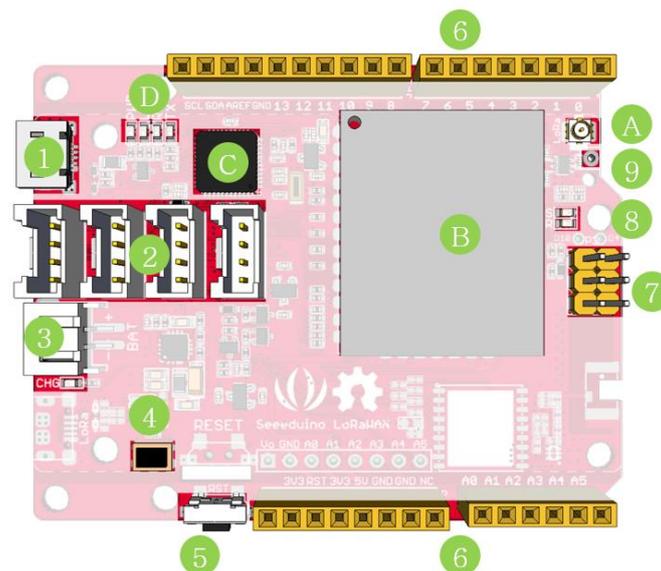


Figura 9. Descripción general del hardware de Seeduo LoRaWAN
Adaptado de (Seed Technology, 2018).

Descripción de los elementos enumerados en la Figura 7.

1. Micro USB - Programación y alimentación de la placa.
 2. Conectores Grove
 3. Entrada de batería JST2.0 Lipo (3.7V) y led de estado de carga
 4. Botón DFU - Botón de modo de firmware
 5. Botón de reinicio
 6. Arduino Pinout
 7. pasadores ICSP
 8. Modo de firmware led
 9. Antena de alambre
 - A. antena uFL
 - B. módulo de RF - RHF76-052AM
 - C. Procesador ARM Cortex M0 - ATSAMD21G18
 - D. LEDs
- RX / TX: parpadea cuando los datos en UART (de / a USB)
- L - un led conectado a D13
- PWR – potencia

4.6.2 Mapa de Pin

En la tabla 4 se muestra el mapa de pin de Seeeduino LoRaWAN, donde se detallan todos los pines de entrada, salida y de qué manera se pueden utilizar.

Tabla 9
Mapa de Pin

Nombre del PIN	Numero GPIO	Interrupción Externa	PWM	Entrada Análoga	Salida Análoga	Función
0	#0	SI	SI			RX(Serial)
1	#1	SI	SI			TX(Serial)
2	#2	SI				
3	#3	SI	SI			
4	#4		SI			
5	#5	SI	SI			
6	#6	SI	SI			
7	#7	SI				
8	#8	SI	SI			
9	#9	SI	SI			
10	#10	SI	SI			
11	#11	SI	SI			SPI_MOSI
12	#12	SI	SI			SPI_MISO
13	#13	SI	SI			SPI_SCK
SDA	#20	SI	SI			
SCL	#21	SI	SI			
A0	#A0	SI	SI	SI	SI	
A1	#A1	SI	SI	SI		
A2	#A2	SI	SI	SI		
A3	#A3	SI	SI	SI		
A4	#A4	SI	SI	SI		Voltaje de la batería
A5	#A5	SI	SI	SI		Estado de carga

Nota: Todos los pines pueden actuar como entrada y salida digital. Adaptado de (Seeed Technology, 2018).

4.7 Ejemplos básicos Seeeduino LoRaWAN

1. Primero se necesita instalar el último IDE de Arduino y agregar Seeeduino LoRa a su IDE de Arduino.
2. Se instalará el controlador (para Windows)
3. Cuando sea la primera vez que inserte la placa, se debe obtener un nombre de dispositivo USB COM Seeeduino LoRaWAN que necesita instalar un controlador.
4. Para asegurarse de que el controlador se instaló correctamente abrir el Administrador de dispositivos para ver si existe Seeeduino LoRaWAN. Como se puede observar en la Figura 8.

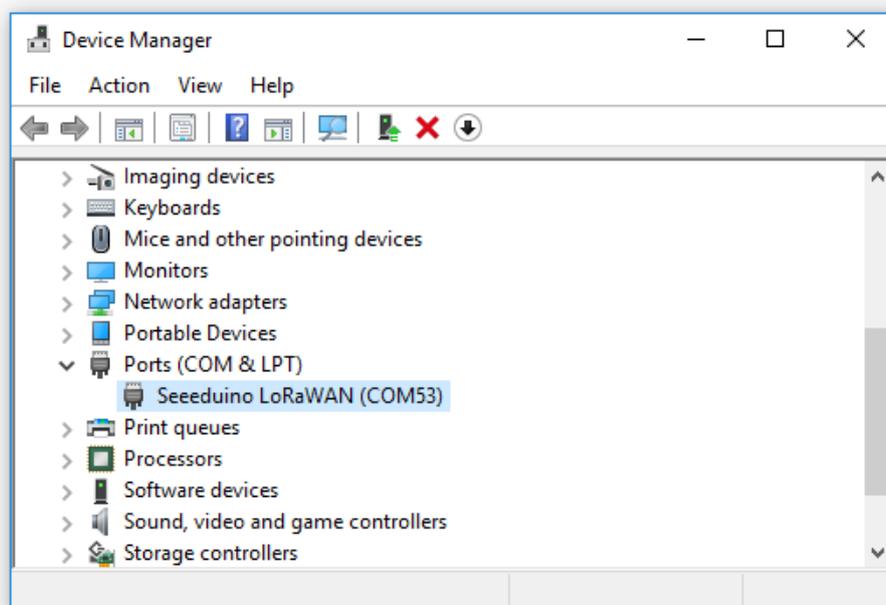


Figura 10. Instalación de controlador
Adaptado de (Seeed Technology, 2018).

4.7.1. Parpadeo

Abrir el IDE de Arduino y se hará clic en Archivo> Ejemplos> 01.Básicas> Parpadeo para abrir el boceto o se copiará el código el cual se muestra en la Figura 9:

```

1 // the setup function runs once when you press reset or power the board
2 void setup() {
3   // initialize digital pin 13 as an output.
4   pinMode(13, OUTPUT);
5 }
6
7 // the loop function runs over and over again forever
8 void loop() {
9   digitalWrite(13, HIGH); // turn the LED on (HIGH is the voltage level)
10  delay(1000); // wait for a second
11  digitalWrite(13, LOW); // turn the LED off by making the voltage LOW
12  delay(1000); // wait for a second
13 }

```

Figura 11. Código Parpadeo

Adaptado de (Seeed Technology, 2018).

Después, dar clic en Herramientas> Tablero> Seeedduino LoRaWAN. Adicionalmente dar clic en Herramientas> Port para seleccionar el puerto correcto en el que está conectado Seeedduino LoRaWAN.

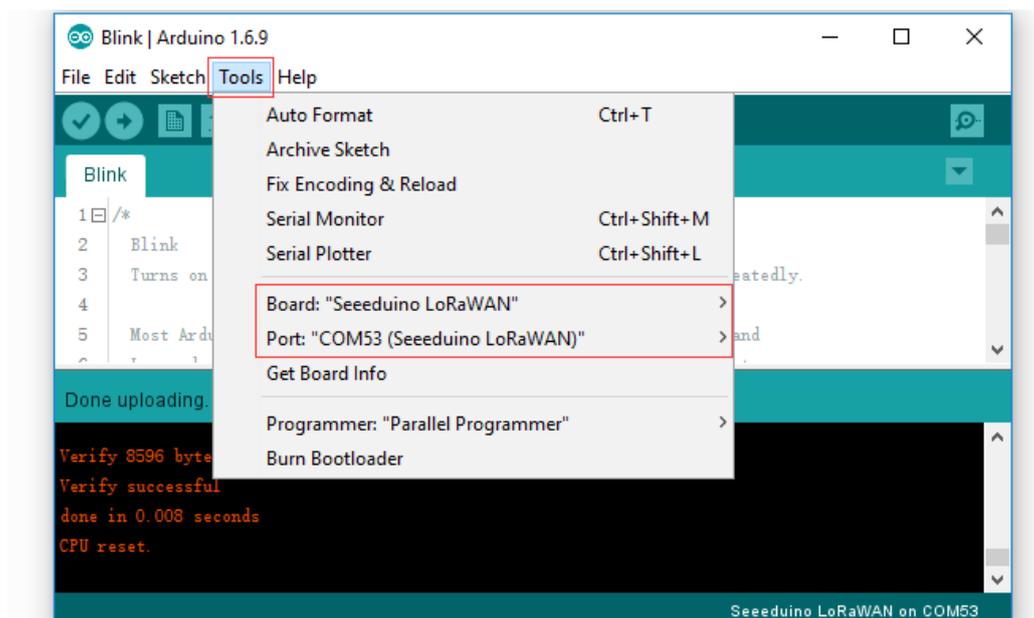


Figura 12. Configuración

Adaptado de (Seeed Technology, 2018).

Luego dar clic en el botón de compilar en la parte superior izquierda del IDE de Arduino, y se cargará, el boceto como se observa en la Figura 11.



Figura 13. Compilación Parpadeo

Adaptado de (Seeed Technology, 2018).

4.7.2. Batería

Se puede alimentar la placa a través de una batería de 3.7V Lipo. Se incluye un cable JST2.0, se lo utilizará si no puede obtener una batería con el conector JST2.0. El pin de estado de carga y el pin positivo de la batería se habían conectado a A4 y A5, lo que le permite detectar el estado de carga y medir el voltaje de la batería a través de la codificación.

Se copiará y cargará el código de la Figura 12 para detectar el estado de la batería.

```

1 // battery of Seeeduino LoRaWAN
2
3 const int pin_battery_status = A5;
4 const int pin_battery_voltage = A4;
5
6 void setup() {
7   SerialUSB.begin(115200);
8   pinMode(pin_battery_status, INPUT);
9 }
10
11 void loop() {
12
13   int a = analogRead(pin_battery_voltage);
14   float v = a/1023.0*3.3*11.0; // there's an 1M and 100k resistor div
15   SerialUSB.print(v, 2);
16   SerialUSB.print("\t");
17   SerialUSB.println(digitalRead(pin_battery_status));
18
19   delay(1000);
20 }

```

Figura 14. Código

Adaptado de (Seeed Technology, 2018).

Nota: El estado de carga regresa a 0 mientras se está cargando, regresa a 1 cuando la carga está terminada o no se inserta la batería. Adaptado de (Seeed Technology, 2018).

4.7.3 Enviar y recibir ejemplo

Existen bibliotecas muy útiles y prácticas para módulos LoRaWAN, es necesario considerar que aún se necesita un reconocimiento sobre el protocolo LoRa si se desea una aplicación avanzada. No se necesita descargar la biblioteca, está incluida en el paquete. Esta se puede abrir en Archivo> Ejemplos> LoRaWAN. Esos ejemplos incluyen:

- p2p-tx
- p2p-rx
- ABP
- OTAA

Se necesita 2 piezas de Seeedduino LoRaWAN para completar este ejemplo, uno para enviar y otro para recibir.

4.7.4. Enviando P2P

Se abre el IDE de Arduino y se realizará clic en Archivo> Ejemplos> LoRaWAN> p2p_tx para abrir el croquis o también se puede copiar el código de la Figura 14. Este boceto transmitirá una cadena de "¡Hola mundo!" cada 3000 ms.

```
1 // Seeedduino LoRaWAN - TX example
2 #include <LoRaWAN.h>
3
4 void setup(void)
5 {
6     SerialUSB.begin(115200);
7     lora.init();
8     lora.initP2PMode(433, SF12, BW125, 8, 8, 20);
9 }
10
11 void loop(void)
12 {
13     lora.transferPacketP2PMode("Hello World!");
14     SerialUSB.println("Send string.");
15     delay(3000);
16 }
```

Figura 15. Código P2P

Adaptado de (Seeed Technology, 2018).

4.7.5 Recibiendo P2P

Se abrirá el ID de Arduino y se realizará clic en Archivo> Ejemplos> LoRaWAN> p2p_rx para abrir el croquis o se puede copiar el código de la Figura 15.

```

1 // Seduino LoRaWAN - RX example
2 #include <LoRaWan.h>
3
4 unsigned char buffer[128] = {0, };
5
6 void setup(void)
7 {
8     SerialUSB.begin(115200);
9     lora.init();
10    lora.initP2PMode(433, SF12, BW125, 8, 8, 20);
11 }
12
13 void loop(void)
14 {
15     short length = 0;
16     short rssi = 0;
17
18     memset(buffer, 0, 128);
19     length = lora.receivePacketP2PMode(buffer, 128, &rssi, 1);
20
21     if(length)
22     {
23         SerialUSB.print("Length is: ");
24         SerialUSB.println(length);
25
26         SerialUSB.print("RSSI is: ");
27         SerialUSB.println(rssi);
28         SerialUSB.print("Data is: ");
29         for(unsigned char i = 0; i < length; i++)
30         {
31             SerialUSB.print("0x");
32             SerialUSB.print(buffer[i], HEX);
33             SerialUSB.print(" ");
34         }
35         SerialUSB.println();
36     }

```

Figura 16. Código recepción P2P

Adaptado de (Seeed Technology, 2018).

Una vez que ambos croquis estén bien cargados, se abrirá el monitor serie de la placa receptora y se verificará si puede obtener algunos datos como se muestra en la Figura 16:

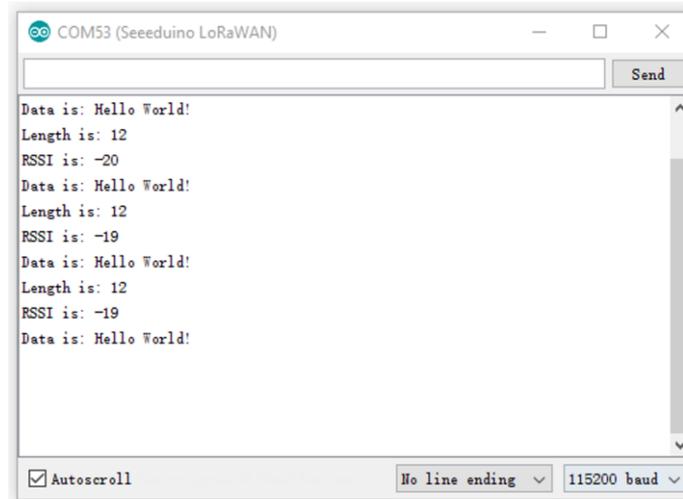


Figura 17. Monitor serie de la placa receptora
Adaptado de (Seeed Technology, 2018).

4.7.6. Actualizar firmware

Si se desea verificar la versión del tablero, se cargara el código de la Figura 17 en su tablero.

```

1 void setup()
2 {
3   Serial1.begin(9600);
4   SerialUSB.begin(115200);
5 }
6
7 void loop()
8 {
9   while(Serial1.available())
10  {
11     SerialUSB.write(Serial1.read());
12  }
13   while(SerialUSB.available())
14  {
15     Serial1.write(SerialUSB.read());

```

Figura 17. Código Actualizar firmware
Adaptado de (Seeed Technology, 2018).

Se abrirá el Monitor Serial y entrada

AT+VER

Entonces se obtendrá la versión del tablero. Como se muestra en la Figura 18.

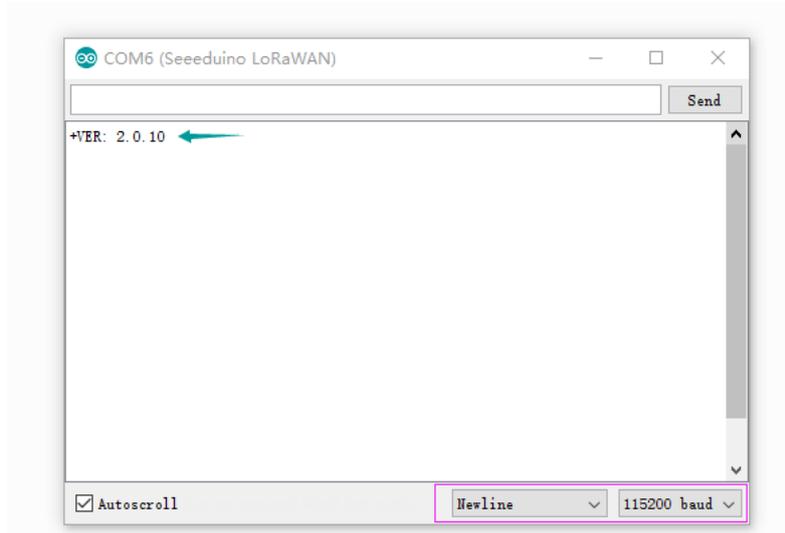


Figura 18. Monitor Serial y entrada
Adaptado de (Seeed Technology, 2018).

5. CAPITULO V. IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO

En este capítulo se definirá y explicará todas las conexiones, actividades y logaritmos realizados el funcionamiento del prototipo.

En primer lugar, se debe considerar que la comunicación es punto a punto (P2P). En segundo lugar, se necesitará dos módulos de transmisión un emisor y un receptor para hacer posible la transmisión de datos (presión, temperatura, vibración y profundidad). Para lo cual se utilizó 2 módulos seeeduino LoRaWAN como se puede observar en la Figura 19.

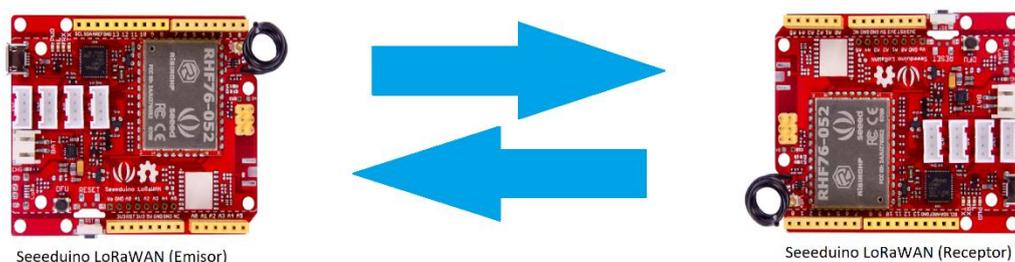


Figura 19. Seeeduino LoRaWAN Emisor-Receptor
Adaptado de (Seeed Technology, 2018).

5.1. Potenciómetros y pantalla.

Los potenciómetros y la pantalla estarán en la placa del transmisor la cual permitirá simular los valores de presión, profundidad, vibración y temperatura, los cuales son proporcionados por un sensor ubicado en la bomba de extracción de petróleo, se utilizarán 4 potenciómetros de 100 K Ohmios. La selección de potenciómetros se basa en la aplicación de la ley de ohm, mediante la tensión de trabajo de nuestro Arduino y la intensidad de corriente requerida se determina la resistencia, la selección del tipo de potenciómetros se debe a varios factores, el más determinante es el diseño exterior y la facilidad de uso y de montaje en panel.

Según lo expuesto anteriormente, en el presente proyecto la selección del potenciómetro se realizó en función de las características de los distintos sensores (presión, temperatura, vibración, profundidad) que se encuentran instalados en fondo de pozo, el diseño de estos dispositivos pertenece a la empresa Schlumberger propietaria de la tecnología, la cual mantiene en reserva, sin embargo el potenciómetro seleccionado es capaz de indicar los valores a los que entrega los sensores instalados en la bomba de extracción. En el anexo 5, se muestra la hoja de datos relacionado al sensor de temperatura. Las características de los sensores se muestran a continuación:

Tabla 10.

Características de los sensores del proyecto

Características del sensor	Sensor de vibraciones Modelo 640	Sensor de temperatura Modelo MCP9700/01	sensor de Presión modelo
Rangos de medida:	0-1000 mm/s	-65°C a 150°C	20.000 psi
Precisión de medida:	± 5%	± 5%	
Señal de salida:	4...20 mA	4-20 mA.	4-20 mA.
Alimentación de tensión:	24V CC 10%	2,3 V a 5,5V	9,6 ... 35 V

Tomado de: Schlumberger Data Sheet

Los potenciómetros estarán acoplados a una placa junto con una pantalla de cristal líquido (Lcd). En esta pantalla se podrán visualizar los datos que serán enviados hacia el módulo receptor. A continuación, la Figura 20 muestra cómo se realizó la conexión de los potenciómetros y la pantalla led a los puertos del Seeeduno LoRaWAN, especificando los pines utilizados y la conexión realizada.

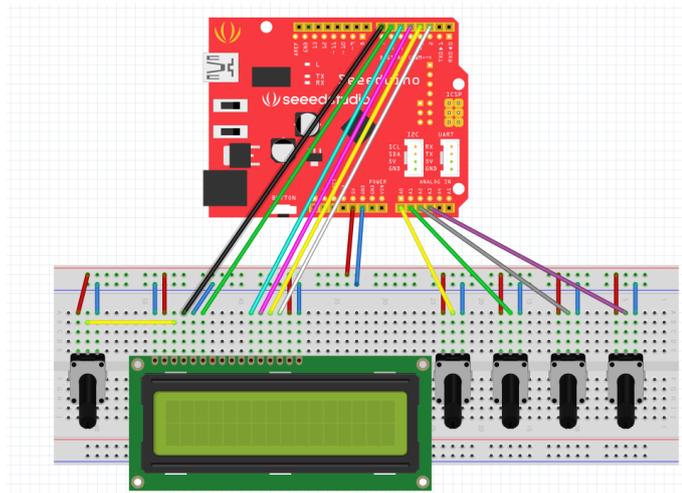


Figura 20. Conexión seeeduno LoRaWAN con pantalla y potenciómetros.

Una vez que se verifica la conexión como se muestra en la Figura 20 se procede a realizar el diseño de la placa en la que se montarán los potenciómetros y la pantalla, este diseño se realizó en el software Proteus 8.7. El propósito de esta placa es que el módulo emisor sea más compacto ya que de esta manera no habrá conexiones por cables o soldaduras entre la placa de potenciómetros y el módulo emisor. La Figura 21 muestra el diseño de la placa que se utilizó para realizar el prototipo.

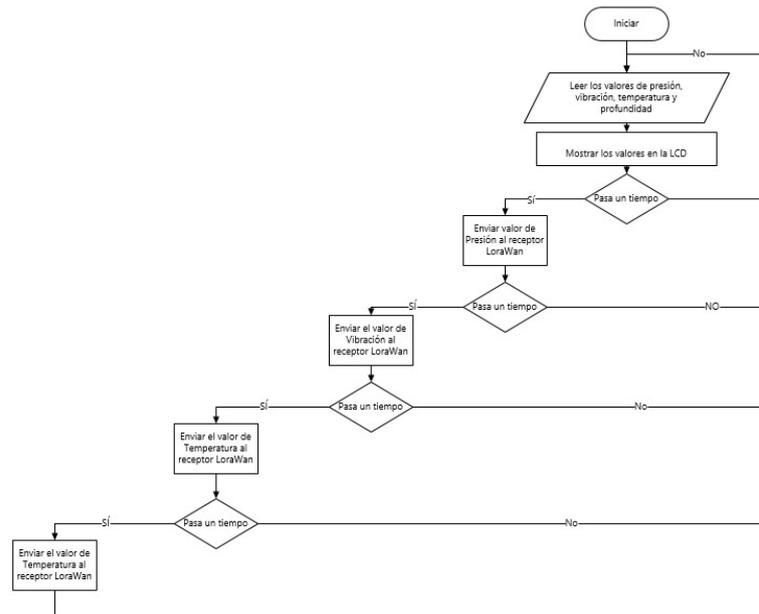


Figura 22. Diagrama de flujo modulo emisor.

En la Figura 23 se muestra el diagrama de flujo del módulo receptor, el cual espera que exista una transmisión, cuando logra detectar una transmisión admite la recepción de datos y los envía en este caso de manera serial para que se muestre en la interface creada con el software Processing.

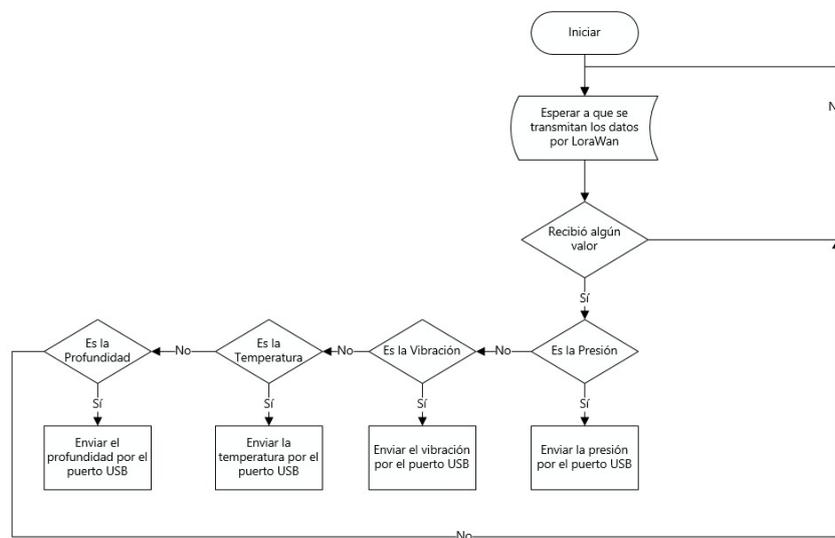


Figura 23. Diagrama de flujo modulo receptor.

En las Figuras 24 y 25, se exhiben varias imágenes del módulo Emisor.



Figura 24. Vistas laterales del módulo Emisor

En la figura 25 se puede ver que la pantalla LCD muestra los valores que el módulo emisor enviara al módulo receptor donde P es presión, T es temperatura, V es Vibración y Pr es presión.



Figura 25. Vista superior del módulo emisor.

En la Figura 26 se puede observar el módulo receptor.

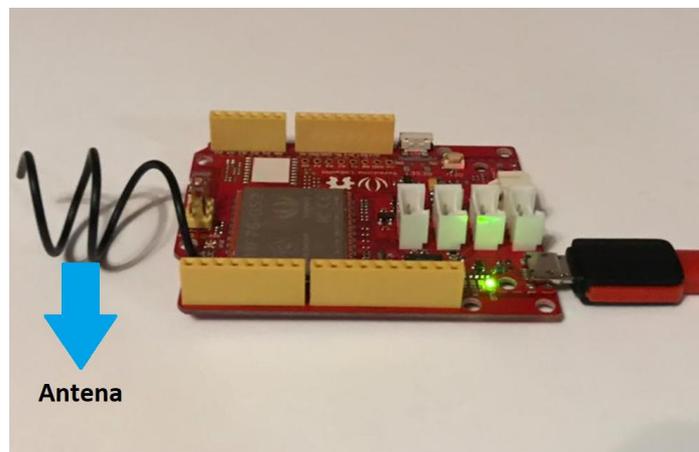


Figura 26. Módulo receptor.

5.3. Interface y base de datos.

Para la visualización de los datos en módulo receptor y el posterior envío a una base de datos se utilizó un software llamado Processing, el cual es de código abierto y basado en java. El software Processing obtiene los datos por el puerto serial los cuales son enviados desde el módulo receptor, posteriormente los valores mostrados se envían a una base de datos la cual fue creada en MySQL. Para hacer posible la conexión entre Processing y MySQL se utilizó el software libre XAMPP, el cual básicamente es un sistema de gestión de base de datos y servidor web apache. Para su correcto funcionamiento se debe cambiar el puerto de MySQL por uno que este libre en este caso se ocupó el puerto 8080 como indica la Figura 27.

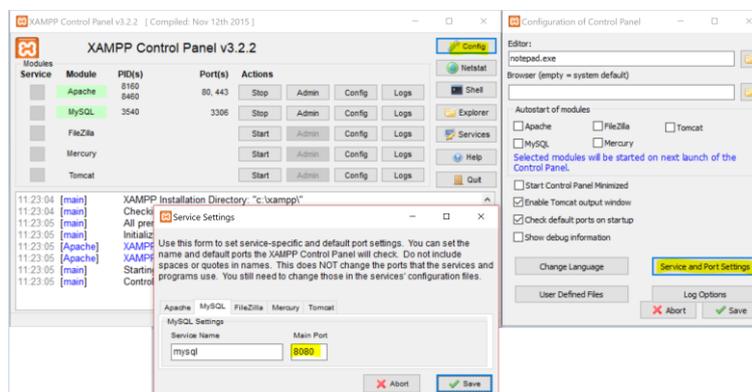


Figura 27. Cambio de puerto de MySQL en XAMPP.

Una vez levantado el servicio Apache y MySQL, se procedió a crear la base de datos, en la cual se almacenarán toda la información enviada por el módulo emisor con la fecha y hora en la que fueron recolectados. A continuación, se muestra el diagrama de flujo el cual contiene la lógica de la programación que se utilizó en el software Processing para la visualización de datos a través de un pc. Para que el programa diseñado pueda mostrar los datos, el módulo receptor deberá estar conectado a un puerto USB (Universal Serial Bus). Este programa también posee una comunicación con la base de datos. Esta conexión permitirá almacenar la información recibida para poder llevar un control y estadística de los trabajos realizados con el prototipo.

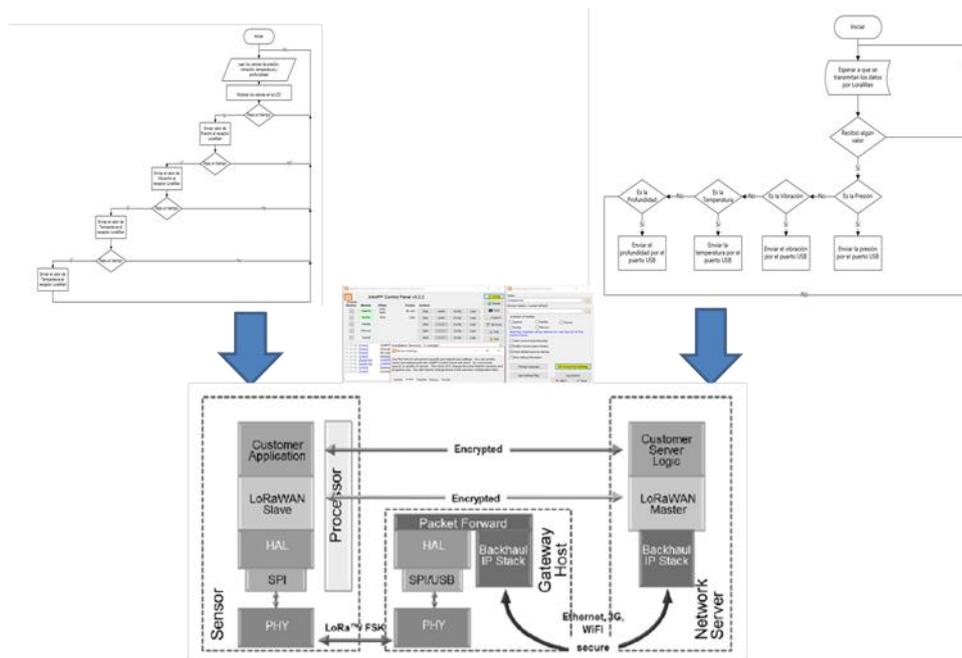


Figura 28. Diagrama de flujo de los módulos del prototipo diseñado

6. CAPÍTULO VI. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

6.1. Prueba de envío y recepción de datos.

Una vez compilados y guardados los programas como se indicó en el capítulo 4.2. Programación módulos emisor receptor, solo bastara energizar los módulos. Es posible observar cómo se va a realizar la transmisión y visualización de los datos. En la Figura 29 se muestra la interfaz con la que se puede visualizar los datos que envía el módulo emisor al ser energizado. Estos datos van a variar según la manipulación de los potenciómetros los cuales simulan los valores de: temperatura (T), Presión (P), Vibración (V) y Profundidad (Pr) arrojados por el sensor de la bomba de extracción. Esta información se podrá observar en la interface del módulo receptor. Existe un retardo el cual varía según la distancia entre los módulos emisor receptor.

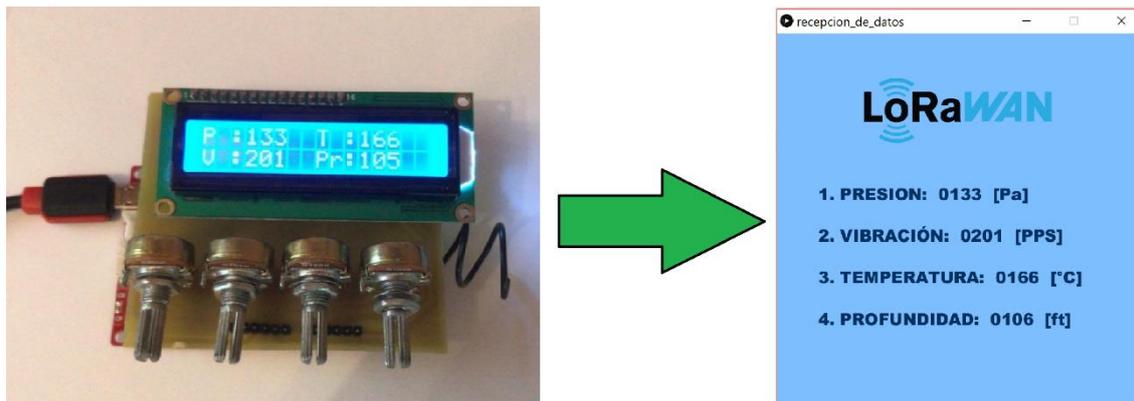


Figura 29. Envío y visualización de datos.

Entre las pruebas de funcionamiento realizadas, se presentan tres pruebas de larga distancia en las cuales la única variante fue el tiempo de retardo. Como se puede observar en la tabla 5.

El promedio de este retardo en las pruebas realizadas es de 1.2 segundos.

Al realizar las pruebas de envío y recepción se evidencio que mientras más distancia exista entre los módulos emisor receptor existirá más retardo en el envío de información.

Tabla 5.

Parámetros de pruebas de transmisión.

Distancia	Banda de Frecuencia	Estándar	Retardo
270 m	ISM 915 MHz	IEEE 802.15.4g	0.8 s
400 m	ISM 915 MHz	IEEE 802.15.4g	1.2 s
650 m	ISM 915 MHz	IEEE 802.15.4g	1.6 s

A continuación, se mostraran varias figuras de las pruebas realizadas con el prototipo donde se puede observar la transmisión de los datos y a que distancia se centraban separados los módulos emisor receptor. Estas pruebas fueron realizadas en la ciudad de Latacunga. Como se puede apreciar la zona que se escogió es plana y un tanto llana debido a que el prototipo está diseñado para

trabajar en zonas rurales con línea de vista. Estas pruebas arrojaron la información para obtener la media del retardo (1.2 segundos).

En la Figura 30 se puede observar la distancia (270 m) entre los módulos emisor receptor para la prueba de envío de datos.

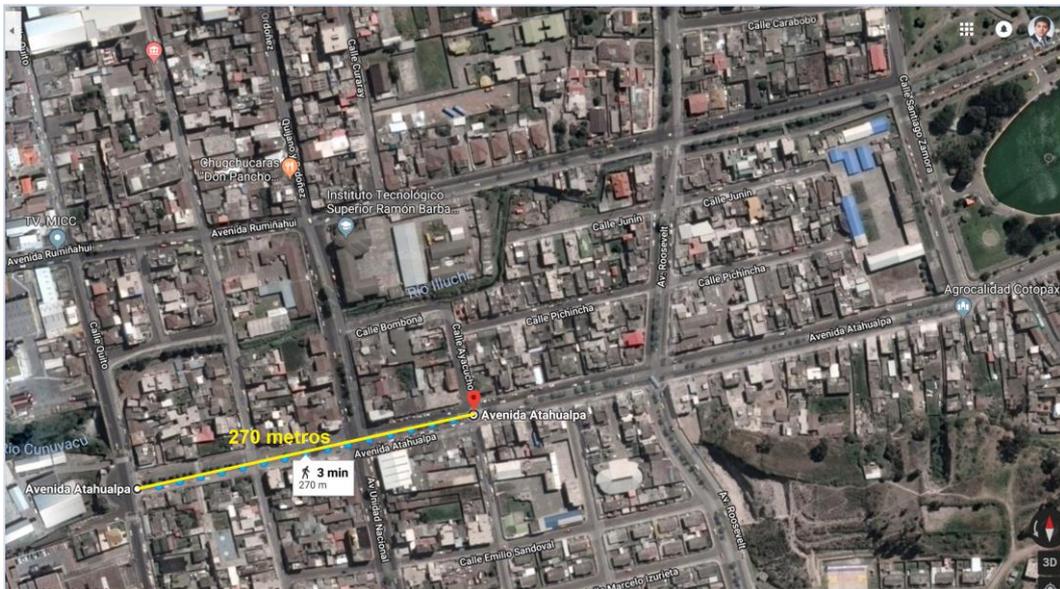


Figura 30. Prueba 1 distancia 270 m.

La Figura 31 muestra los datos transmitidos en la prueba de 270 m.

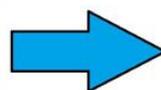


Figura 31. Prueba 1 transmisión a distancia de 270 m.

La Figura 32 permite observar la distancia (400 m) entre los módulos emisor receptor para la prueba de envío de datos.

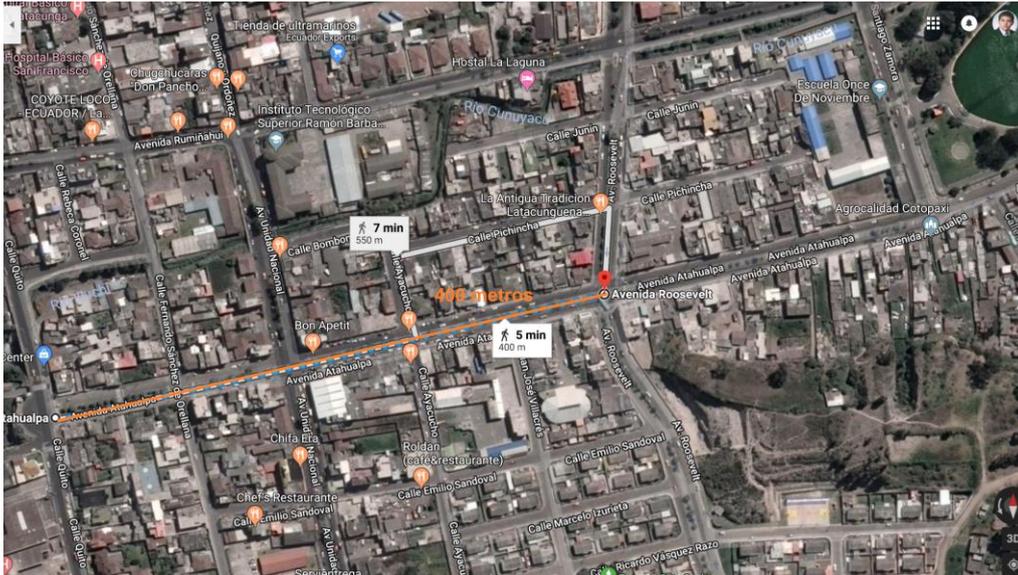


Figura 32. Prueba 2 distancia 400 m.

La Figura 33 muestra los datos transmitidos en la prueba de 400 m.

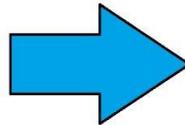


Figura 33. Prueba 2 transmisión a distancia de 400 m.

En la Figura 34 se puede observar la distancia (650 m) entre los módulos emisor receptor para la prueba de envío de datos.

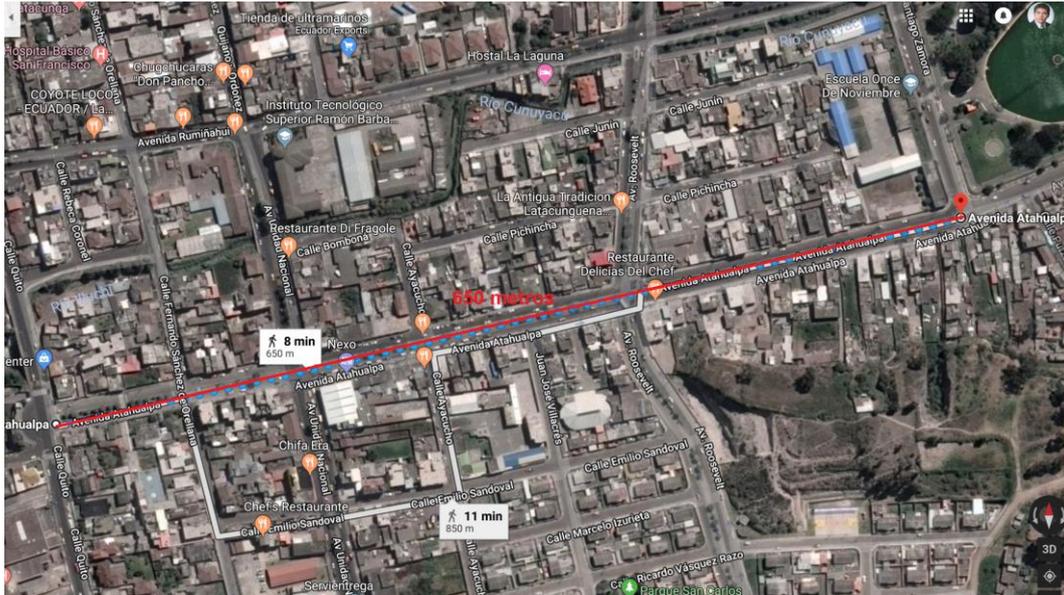


Figura 34. Prueba 3 distancia 650 m.

En la Figura 35 se puede observar los datos transmitidos en la prueba de 650 m.

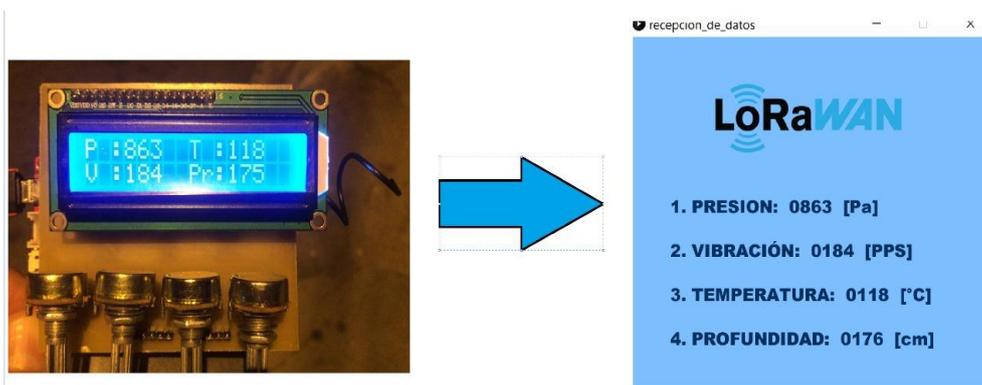


Figura 35. Prueba 3 transmisión a distancia de 650 m.

El rango de cobertura de LoRaWAN es muy amplio el cual aproximadamente puede transmitir hasta 5 km en áreas urbanas y 15 km en zonas rurales. Las distancias requeridas para transmitir los datos de perforación de plataforma de extracción son de 100 a 300 metros. Las pruebas realizadas tienen el rango de 270 a 650 metros, por lo cual se puede decir que el prototipo funciona de manera óptima en la plataforma.

6.2. Almacenamiento en la base de datos.

Al mismo tiempo que los datos se van visualizando en la interface mostrada en la figura 29, estos están siendo guardados en una base de datos gracias a la conexión realizada entre los softwares Processing y XAMPP explicada en el capítulo 4. El que la información transmitida por el prototipo sea almacenada en una base de datos permite llevar un mayor control de los trabajos realizados lo cual permite hacer una estadística del trabajo de la bomba de extracción, el poder llevar un inventario de los datos transmitidos por el prototipo lo hace escalable al mismo ya que si con el paso del tiempo surgen necesidades se podría también mostrar graficas estadísticas de los trabajos realizados.

En la Figura 33 se puede observar el almacenamiento en la base de datos de los parámetros de perforación enviados por el módulo emisor y obtenidos por el módulo receptor, además esta información se guardará con la fecha y hora en la que el módulo receptor obtuvo los datos. Al mismo tiempo esta información puede ser presentada en paneles alejados de la bomba de extracción evitando que el técnico encargado pierda tiempo parando la operación de la plataforma de extracción y deba exponerse a la maquinaria para tener acceso a los datos del sensor.

Mostrando filas 0 - 24 (total de 808, La consulta tardó 0,0000 segundos.) [id: 2776... - 2752...]

```
SELECT * FROM `datos` ORDER BY `datos`.`id` DESC
```

Número de filas: 25 | Filtrar filas: Buscar en esta tabla | Ordenar según la clave: Ninguna

	id	Presion	Vibracion	Temperatura	Profundidad	fecha
<input type="checkbox"/>	2776	186	608	651	72	2018-12-21 18:22:33
<input type="checkbox"/>	2775	186	608	651	72	2018-12-21 18:22:32
<input type="checkbox"/>	2774	186	608	650	72	2018-12-21 18:22:30
<input type="checkbox"/>	2773	186	608	650	72	2018-12-21 18:22:28
<input type="checkbox"/>	2772	186	608	650	71	2018-12-21 18:22:27
<input type="checkbox"/>	2771	186	608	650	71	2018-12-21 18:22:25
<input type="checkbox"/>	2770	186	608	650	71	2018-12-21 18:22:23
<input type="checkbox"/>	2769	187	608	651	71	2018-12-21 18:22:22
<input type="checkbox"/>	2768	187	608	651	71	2018-12-21 18:22:20
<input type="checkbox"/>	2767	187	608	651	71	2018-12-21 18:22:18
<input type="checkbox"/>	2766	187	607	651	71	2018-12-21 18:22:17
<input type="checkbox"/>	2765	187	607	651	71	2018-12-21 18:22:15
<input type="checkbox"/>	2764	187	608	651	0	2018-12-21 18:22:13
<input type="checkbox"/>	2763	187	608	651	0	2018-12-21 18:22:12

Figura 33. Base de datos.

Después de realizar varias pruebas es necesario decir que el prototipo necesita tener línea de vista entre los módulos emisor receptor para que estos puedan hacer posible la comunicación, también se comprobó que mientras más distancia exista entre los módulos de transmisión el retardo de la primera comunicación aumentara una vez entablada la comunicación el tiempo promedio de retardo es menor o igual a 1,2 segundos.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones.

El estudio y comparación de las redes LPWAN, dio como resultado la elección de la tecnología LoRaWAN para llevar a cabo la transmisión de los parámetros de perforación (presión, vibración, temperatura y profundidad). LoRaWAN es una solución óptima, dado que esta posee otras cualidades como: amplia cobertura la cual reduce significativamente el número de nodos, su reducido consumo de energía es ideal para trabajos rurales o de campo, al tener una amplia cobertura no se tiene mucha capacidad en la transformación de datos. Sin embargo, este aspecto no es crítico puesto que se necesita transmitir, 4 datos en el prototipo, esto convierte a LoRaWAN en una solución que óptima para el proyecto.

Los parámetros de perforación que se obtienen del sensor los cuales en el prototipo son representados por los valores variables de los potenciómetros se guardarán en una base de datos la cual permite llevar un control, registro y estadística de los datos obtenidos por el prototipo.

Al analizar la problemática para la transmisión de información en tiempo real, se llegó a la conclusión de que el retardo que se genera al utilizar LoRaWAN es aceptable y viable para el proyecto, dado que la información que transmite no es crítica.

LPWAN viene siendo tendencia estos últimos años en el campo de las telecomunicaciones, brindando soluciones específicas a la necesidad del usuario. Además de una larga vida útil de batería la cual puede durar hasta 10 años y ofrecen un alcance de 5 a 40 kilómetros. Sus dispositivos o módulos no son complejos y son fáciles de comprender y utilizar.

Se debe tomar en cuenta el área en el que se desea trabajar con tecnologías LPWAN puesto que estas tienden a perder alcance o fiabilidad cuando se trabaja en zonas urbanas, debido a la interferencia y señales electromagnéticas que existen. Por otro lado, en zonas suburbanas trabajan de manera óptima. Además, se debe decir que para que la comunicación exista los módulos emisor receptor deben tener línea de vista independientemente de la zona en que se trabaje.

7.2 Recomendaciones.

Los módulos utilizados están abiertos a una red más escalable, es por esto que si en el futuro se requiere ampliar este diseño para que existan más nodos que transmitan información sensorial se recomienda utilizar un gateway el cual este montado en una Raspberry pi. Esto facilitará la comunicación entre nodos y el posterior enlace a internet de manera significativa. Su uso no es complejo y en el mercado existen módulos diseñados para ser usados con Raspberry pi los cuales son compatibles con los módulos seeeduino LoRaWAN utilizados en este proyecto.

Para solventar el inconveniente de que LoRaWAN necesita línea de vista se recomienda aumentar nodos donde la trayectoria es interrumpida. Esta podría ser una solución temporal mientras las investigaciones futuras logren desarrollar módulos con tecnología Lora/LoRaWAN que no necesiten obligadamente estar en línea de vista para comunicarse.

Para realizar una conexión punto a punto se recomienda usar dos módulos LoRaWAN. Mientras que cuando se desea realizar una comunicación de datos entre más de dos nodos sensoriales es mejor utilizar el gateway, para que los distintos módulos se comuniquen con él y este a su vez reciba, procese y de salida a internet. De esta manera se optimizará los recursos y reducirá el desperdicio de tecnología.

REFERENCIAS

- Adryan, B., Obermaier, D., & Fremantle, P. (2017). *The Technical Foundations of IoT*. Artech House. Recuperado el 15 de octubre de 2018, de <https://uk.artechhouse.com/The-Technical-Foundations-of-IoT-P1877.aspx>
- Atmel. (2016). *ATmega164P/V.8-bit AVR Microcontrollers*. Recuperado el 18 de octubre de 2018, de http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-42742-ATmega164P_Datasheet.pdf
- Barberà, A. (2016). Arquitectura de referencia en el Internet Of Things. Recuperado el 10 de octubre de 2018, de www.zemsania.com/recursos-zemsania/whitepapers/DTS/arquitecturaloT.pdf
- Barberà, A. (2016). Arquitectura de referencia en el Internet Of Things. Recuperado el 14 de octubre de 2018, de www.zemsania.com/recursos-zemsania/whitepapers/DTS/arquitecturaloT.pdf
- Bernardi, L., Sarma, S., & Traub, K. (2017). *The Inversion Factor: How to Thrive in the IoT Economy*. Recuperado el 27 de octubre de 2018, de <https://mitpress.mit.edu/contributors/sanjay-sarma>
- Borrero, J., Fernández, G., & Rodríguez, C. (2017). Proyecto BoLoRa Universidad de Huelva: Una experiencia de innovación educativa con los estudiantes de ingeniería. Recuperado el 25 de octubre de 2018, de https://www.researchgate.net/profile/Juan_D_Borrero/publication/323907622_BoLoRa_Universidad_de_Huelva_An_experience_on_Internet_of_Things_by_engineering_students/links/5ab2420f458515eecedca8d/BoLoRa-Universidad-de-Huelva-An-experience-on-Internet-of-Thi
- Campos, P. E. (2017). Evaluación del Rango de Transmisión de LoRa para Redes de Sensores Inalámbricas con LoRaWAN en Ambientes Forestales. Recuperado el 13 de octubre de 2018, de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/28504>.
- Dobato, G. (2018). Integración de un modelo de energía en la simulación de redes LoRaWAN en NS-3. Recuperado el 20 de octubre de 2018, de

- <http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/handle/10609/80727>
- EFOR. (2017). Tecnologías de Comunicación para IoT. Revista Efor - Internet y Tecnología. Recuperado el 21 de octubre de 2018, de <https://www.efor.es/sites/default/files/tecnologias-de-comunicacion-para-iot.pdf>
- Galinina, O., Andreev, S., Balandin, S., & Koucheryavy, Y. (2017). *Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networks and Systems*. Recuperado el 16 de octubre de 2018, de <https://www.springer.com/us/book/9783030011673>
- Galinina, O., Andreev, S., Balandin, S., & Koucheryavy, Y. (2017). *Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networks and Systems*. Recuperado el 27 de octubre de 2018, de <https://www.springer.com/us/book/9783030011673>
- González, A. (2017). IoT: Dispositivos, tecnologías de transporte y aplicaciones. Recuperado el 25 de octubre de 2018, de <http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/64286/3/agonzalezgarcia0TFM0617memoria.pdf>
- González, A. (2017). IoT: Dispositivos, tecnologías de transporte y aplicaciones. Recuperado el 12 de octubre de 2018, de <http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/64286/3/agonzalezgarcia0TFM0617memoria.pdf>
- Grabcad. (s.f.). Diseño de Red. Recuperado el 15 de octubre de 2018, de <https://grabcad.com/library/burke-pumpjack-2>
- Krom, A. (2016). Las tecnologías LPWAN conectarán a 4.000 millones de dispositivos hacia 2025. Revista Telesemana. Recuperado el 18 de octubre de 2018, de <https://www.telesemana.com/blog/2016/12/15/las-tecnologias-lpwan-conectaran-a-4-000-millones-de-dispositivos-hacia-2025/>
- López, B., Córdova, F., Mena, L., & Soria, J. (2017). Sistema de adquisición de datos y monitoreo en tiempo real (RTM) con levantamiento hidráulico para la optimización de campos petroleros. PGE Petróleo & Gas. Recuperado el 16 de octubre de 2018, de

- <http://www.sertecpet.net/medios/publicaciones/RTM.pdf>
- Madrid, C. (2015). Estudio Técnico Para El Diseño Y La Planificación De La Nueva Base De Mantenimiento De Los Segmentos De Intervención De Pozo Y Servicios De Pozo De La Empresa De Servicios Petroleros Schlumberger Del Ecuador. Recuperado el 12 de octubre de 2018, de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/4249>
- Martínez, C. (2015). Las redes LPWAN desbancarán a las redes móviles en aplicaciones IoT. *Conectronica*, 1(1). Recuperado el 28 de octubre de 2018, de <https://www.conectronica.com/tecnologia-electronica/las-redes-lpwan-desbancaran-a-las-redes-moviles-en-aplicaciones-iot>
- Mateo, J. P., & García, S. (2014). El sector petrolero en Ecuador. 2000-2010. *Problemas Del Desarrollo*, 45(177), 113–139. [https://doi.org/10.1016/S0301-7036\(14\)70865-X](https://doi.org/10.1016/S0301-7036(14)70865-X)
- Mateo, J., & García, S. (2014). El sector petrolero en Ecuador. 2000–2010. *Problemas del Desarrollo*, 45(177). Recuperado el 05 de noviembre de 2018, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030170361470865X>
- Ministerio de Hidrocarburos. (2017). Rendición de cuentas. Recuperado el 19 de octubre de 2018, de <https://www.hidrocarburos.gob.ec/wp-content/uploads/2018/03/Informe-de-Rendicion-de-Cuentas-2017.pdf>
- Misael Saenz. (2018). Curso Básico de Arduino. *Mecatrónica LATAM*, 168. Retrieved from <https://www.wittronics.com.mx/wp-content/uploads/2018/08/Curso-de-Arduino-Basico-1ra-Edicion-Saenz-Flores-Misael.pdf>
- Munera, A. (2018). Modelado y evaluación de la tecnología Sigfox para NS3. Recuperado el 15 de octubre de 2018, de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/107791/MUNERA%20-%20Modelado%20y%20evaluaci%C3%B3n%20de%20la%20tecnolog%C3%ADa%20Sigfox%20para%20NS3.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ordóñez, I. (2017). Estudio de la arquitectura y el nivel de desarrollo de la red LoRaWAN y de los dispositivos LoRa. Universitat Oberta de Catalunya. Universitat Oberta de Catalunya. Recuperado el 23 de octubre de 2018,

- de <http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/handle/10609/64365>
- Raj, P., & Raman, A. (2017). *The Internet of Things: Enabling Technologies, Platforms, and Use Cases*. Recuperado el 08 de noviembre de 2018, de <https://www.taylorfrancis.com/books/9781498761291>
- Saenz. (2014). Curso básico de Arduino. Recuperado el 06 de noviembre de 2018, de https://books.google.com.ec/books?id=lcBmDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Seeed Technology. (2018). *Seeeduino LoRaWAN*. Recuperado el 22 de octubre de 2018, de http://wiki.seeedstudio.com/Seeeduino_LoRAWAN/#getting-started
- Sun, H., Wang, C., & Ahmad, B. (2018). *From Internet of Things to Smart Cities: Enabling Technologies*. Recuperado el 07 de noviembre de 2018, de <https://www.crcpress.com/From-Internet-of-Things-to-Smart-Cities-Enabling-Technologies/Sun-Wang-Ahmad/p/book/9781498773782>
- Torres, E. (2013). El petróleo en Ecuador la nueva era petrolera. Recuperado el 10 de noviembre de 2018, de <https://www.eppetroecuador.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/03/El-Petr%C3%B3leo-en-el-Ecuador-La-Nueva-Era.pdf>
- Triana, J., & Rodriguez, R. (2018). Prototipo De Solución Iot Con Tecnología “Lora” En Monitoreo De Cultivos Agrícolas. Recuperado el 10 de noviembre de 2018, de <http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/13388>
- Vega, I., Lagos, M., & Salgado, G. (2017). Monitoreo de concentración de monóxido de carbono usando tecnología Long-Range. *Ingenius: Revista de Ciencia y Tecnología*,(18). Recuperado el 11 de noviembre de 2018, de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6053082>
- Vega, I., Lagos, M., Salgado, G., Tapia, V., & Sánchez, F. (2018). Inventario de máquinas expendedoras usando una LPWAN. *Pistas Educativas*, 128(39). Recuperado el 09 de OCTUBRE de 2018, de <http://www.itcelaya.edu.mx/ojs/index.php/pistas/article/view/1176>
- Vega, J., Lagos, M., Salgado, G., & Tapia, V. (2018). Implantación de una

LPWAN para monitoreo de temperatura y humedad en un invernadero. Pistas Educativas, 39. Recuperado el 14 de noviembre de 2018, de <http://www.itcelaya.edu.mx/ojs/index.php/pistas/article/view/1134>

Viñas, J. B. (2018). Evaluación de tecnologías LPWAN para escenarios de Smart Cities. Cartagena, Recuperado el 10 de octubre de 2018, de <http://repositorio.upct.es/handle/10317/7296>

ANEXOS

Anexo 1. Programación modulo emisor.

```
#include <LoRaWan.h> //Libreria LoraWan
#include <LiquidCrystal.h> //Libreria de LCD

const int rs = 7, en = 6, d4 = 5, d5 = 4, d6 = 3, d7 = 2;
LiquidCrystal lcd(rs, en, d4, d5, d6, d7); //Se coloca los pines de la LCD

int var1; //Variable 1
int var2; //Variable 2
int var3; //Variable 3
int var4; //Variable 4

int cont1 =0;
int cont2 =0;
int cont3=0;
int cont4=0;
int contador=0;

String valor1;
String valor2;
String valor3;
String valor4;

char dato1[20]; //Dato 1 en caracter array
char dato2[20]; //Dato 2 en caracter array
char dato3[20]; //Dato 3 en caracter array
char dato4[20]; //Dato 4 en caracter array

void setup(void) {

    SerialUSB.begin (115200); //Inicia el monitor serial
    lora.init(); //Inicia la comunicación LoraWan
    lora.initP2PMode(433, SF12, BW125, 8, 8, 20); //Tipo de comunicación
    lcd.begin(16, 2); //Inicia lcd de 16x2
    lcd.clear(); //Se borra la lcd

}

void loop(void) {

    valor1 = "1";
    valor2 = "2";
    valor3 = "3";
    valor4 = "4";

    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0); // Poner en la linea 0, posicion 0
    lcd.print("P : " );
    lcd.setCursor(3, 0); // Poner en la linea 0, posicion 3
    lcd.print(var1);
    lcd.setCursor(0, 1); // Poner en la linea 1, posicion 0
    lcd.print("V : " );
    lcd.setCursor(3, 1); // Poner en la linea 1, posicion 3
    lcd.print(var2);
    lcd.setCursor(8, 0); // Poner en la linea 0, posicion 10
    lcd.print("T : " );
    lcd.setCursor(11, 0); // Poner en la line 0, posicion 13
    lcd.print(var3);
    lcd.setCursor(8, 1); // Poner en la linea 1, posicion 10
    lcd.print("Pr: " );
    lcd.setCursor(11, 1); // Poner en la linea 1, posicion 13
    lcd.print(var4);

    //Envio variable presion
    var1 = analogRead(A0); //Lee la variable 1
    valor1 = valores (var1, valor1); //Funcion valores
```

```

    valor1 = valor1 + (String) var1; //Se transforma la variable 1 a string
    valor1.toCharArray(dato1,20); //Se transforma la variable 1 de string
a caracter de array //Transfiere la presión
    lora.transferPacketP2PMode(dato1);
    SerialUSB.print("Presion: ");
    SerialUSB.println (dato1);
    delay(5);

//Envio variable vibracion
var2 = analogRead(A1); //Lee la variable 2
valor2 = valores (var2, valor2); //Funcion valores
valor2 = valor2 + (String) var2; //Se transforma la variable 2 a string
valor2.toCharArray(dato2,20); //Se transforma la variable 2 de string
a caracter de array //Transfiere la vibracion
    lora.transferPacketP2PMode(dato2);
    SerialUSB.print("Vibracion ");
    SerialUSB.println (dato2);
    delay(5);

//Envio variabe temperatura
var3 = analogRead(A2); //Lee la variable 3
valor3 = valores (var3, valor3); //Funcion valores
valor3 = valor3 + (String) var3; //Se transforma la variable 3 a string
valor3.toCharArray(dato3,20); //Se transforma la variable 3 de string
a caracter de array //Transfiere la presión
    lora.transferPacketP2PMode(dato3);
    SerialUSB.print("Temperatura: ");
    SerialUSB.println (dato3);
    delay(5);

//Envio variable profundidad
var4 = analogRead(A3); //Lee la variable 4
valor4 = valores (var4, valor4); //Funcion valores
valor4 = valor4 + (String) var4; //Se transforma la variable 4 a string
valor4.toCharArray(dato4,20); //Se transforma la variable 4 de string
a caracter de array //Transfiere la vibracion
    lora.transferPacketP2PMode(dato4);
    SerialUSB.print("Profundida: ");
    SerialUSB.println (dato4);
    delay(5);
    valor1="";
    valor2="";
    valor3="";
    valor4="";
}

String valores (int var, String valor){
    if (var < 10){
        valor = valor + "000";
    }
    if (var > 9 && var < 100){
        valor = valor + "00";
    }
    if (var > 99 && var < 1000){
        valor = valor + "0";
    }
    return valor;
}

```

Anexo 2. Programación modulo receptor.

```
#include <LoRaWan.h> //Libreria LoraWan
unsigned char buffer[128] = {0, }; //buffer de caracteres

char contador; //variable contador
char dato;
String cadena="";
String presion;
String vibracion;
String temperatura;
String profundidad;

void setup(void)
{
  SerialUSB.begin(9600); //Inicia el monitor serial
  lora.init(); //Inicia loraWan
  lora.initP2PMode(433, SF12, BW125, 8, 8, 20); //Tipo de comunicacion punto a
punto
}

void loop(void){
  short length = 0; //Variable tamaño de caracter
  short rssi = 0; //variable de señal de LoraWan
  memset(buffer, 0, 128); //Buffer de 0 a 128
  length = lora.receivePacketP2PMode(buffer, 128, &rssi, 1); //Tamaño de la
cadena recibido
  if(length){
    for(unsigned char i = 0; i < length; i ++){ //Colocar la
cadena en un String
      if (i == 0){
        contador = (char)buffer[i];
      }
      else{
        dato= (char)buffer[i]; //Cambiar el caracter de ascii a caracter
        cadena = cadena+dato; //Coloco los caracteres en un String
      }
    }
    if (contador == '1'){ //Si el contador = 1
      SerialUSB.print("p");
      presion = cadena; //Coloco el String en la variable presion
      SerialUSB.println(presion);
    }
    if (contador == '2'){ //Si el contador = 2
      SerialUSB.print("v");
      vibracion = cadena; //Coloco el String en la variable vibracion
      SerialUSB.println(vibracion);
    }
    if (contador == '3'){ //Si el contador = 3
      SerialUSB.print("t");
      temperatura = cadena; //Coloco el String en la variable temperatura
      SerialUSB.println(temperatura);
    }
    if (contador == '4'){ //Si el contador = 4
      SerialUSB.print("d");
      profundidad = cadena; //Coloco el String en la variable profundidad
      SerialUSB.println(profundidad);
      contador = 0; //Reinicio el contador
    }
    cadena = ""; //Reinicio la cadena de caracteres
  }
}
```

Anexo 3. Programación interface.

```
//Puerto Serial
import processing.serial.*;
Serial puerto;

//Libreria MySQL
import de.bezier.data.sql.mapper.*;
import de.bezier.data.sql.*;

import de.bezier.data.sql.*;
MySQL msql;

//Tipos de Fuente utilizadas para el texto
PFont fuente1;
PFont fuente2;

//Variables para obtener los valores obtenidos
String dato; // Cadena de entrada del puerto serial
int aux=0; //Variable auxiliar para dividir el buffer
int cont=0; //Contador
int cont_mysql=0; //Contador para enviar los datos a mysql

//Variables de medición
String presion="";
String vibracion="";
String temperatura="";
String profundidad="";
String presion1="0";
String vibracion1="0";
String temperatur1="0";
String profundidad1="0";

//Variable de imagen
PImage imagen;

void setup () {
  size (900,900); //Tamaño de la ventana
  fuente1 = createFont("Arial Black", 40); //Fuente de texto 1
  fill(0, 48, 96); //Color del texto
  //printArray (Serial.list ()); //Imprimir los puertos
  disponibles
  puerto = new Serial (this, Serial.list () [0], 9600); //Se ingresa el primer
  puerto serial encontrado
  puerto.buffer (30); //Tamaño del buffer obtenido
  por el puerto serial
  imagen = loadImage("Lorawan1.png"); //Imagen colocada en la
  ventana
  //DATOS DE MYSQL
  String user = "root"; //Usuario de la base de
  datos
  String pass = ""; //Contraseña de la base de
  datos
  String dbHost = "localhost"; //Host de la base de datos
  String database = "lorawan"; //Nombre de la base de
  datos
  msql = new MySQL( this, dbHost, database, user, pass ); //Se envia los datos de la
  base de datos para conectarse
  //String user = "alluccom_lorawan";
  //String pass = "userlorawan";
  //String dbHost = "localhost";
  //String database = "alluccom_LoraWan";
  //msql = new MySQL( this, dbHost, database, user, pass );
}

void draw () {
  cont_mysql ++; //Contador de la base de
  datos
```

```

background(125, 190, 255); //Color del fondo
image(imagen,200,100); //Se coloca imagen la
ventana
//Se coloca los datos en las variables
if (presion.length()==4){
    presion1 = presion;
}
if (vibracion.length()==4){
    vibracion1 = vibracion;
}
if (temperatura.length()==4){
    temperatur1 = temperatura;
}
if (profundidad.length()==4){
    profundidad1 = profundidad;
}

println ("Presion: " + presion1);
println ("Vibracion: " + vibracion1);
println ("Temperatura: " + temperatur1);
println ("Profundidad: " + profundidad1);

//Datos enviados a la ventana
setFont(fuente1); //Fuente de los
datos
text ("1. PRESION: " + presion1 + " [Pa]", 100, 400); //Se muestra los
valores presión en la ventana
text ("2. VIBRACIÓN: " + vibracion1 + " [PPS]", 100, 500); //Se muestra los
valores vibración en la ventana
text ("3. TEMPERATURA: " + temperatur1 + " [°C]", 100, 600); //Se muestra los
valores temperatura en la ventana
text ("4. PROFUNDIDAD: " + profundidad1 + " [cm]", 100, 700); //Se muestra los
valores profundidad en la ventana

//Envío de datos a MySql
if (cont_mysql == 100){
    if ( mysql.connect() ) { //Si se conecta a
mysql
        mysql.execute( "INSERT INTO datos (Presion, Vibracion, Temperatura, Profundidad)
VALUES (" +presion1+ ", " + vibracion1+ ", " + temperatur1 + ", " + profundidad1+");");
//Envío de los datos a la tabla de la base de datos
    }
    else{
        println( "Fallo en la conexion a la base de datos" ); //Imprime falla en
la conexion a la base de datos si no se conecta
    }
    cont_mysql = 0; //Reinicio el
contador de mysql
}
}

//Envío de datos por el Puerto Serial
void serialEvent (Serial puerto) {
    dato = puerto.readString (); //Se coloca el
buffer en una variable tipo String
//Coloca el buffer en diferentes variables
for (int i = 0; i<30; i++){
    if (aux == 1 && cont <4){ //Si el auxiliar
es igual a uno se envio los datos de presión
        cont++;
        presion=presion + dato.charAt(i); //Se coloca cada
caracteres en un String
    }
    if (aux == 2 && cont <4){ //Si el auxiliar
es igual a uno se envio los datos de vibración
        cont++;
        vibracion=vibracion + dato.charAt(i); //Se coloca cada
caracteres en un String
    }
    if (aux == 3 && cont <4){ //Si el auxiliar
es igual a uno se envio los datos de temperatura
        cont++;
        temperatura=temperatura + dato.charAt(i); //Se coloca cada
caracteres en un String

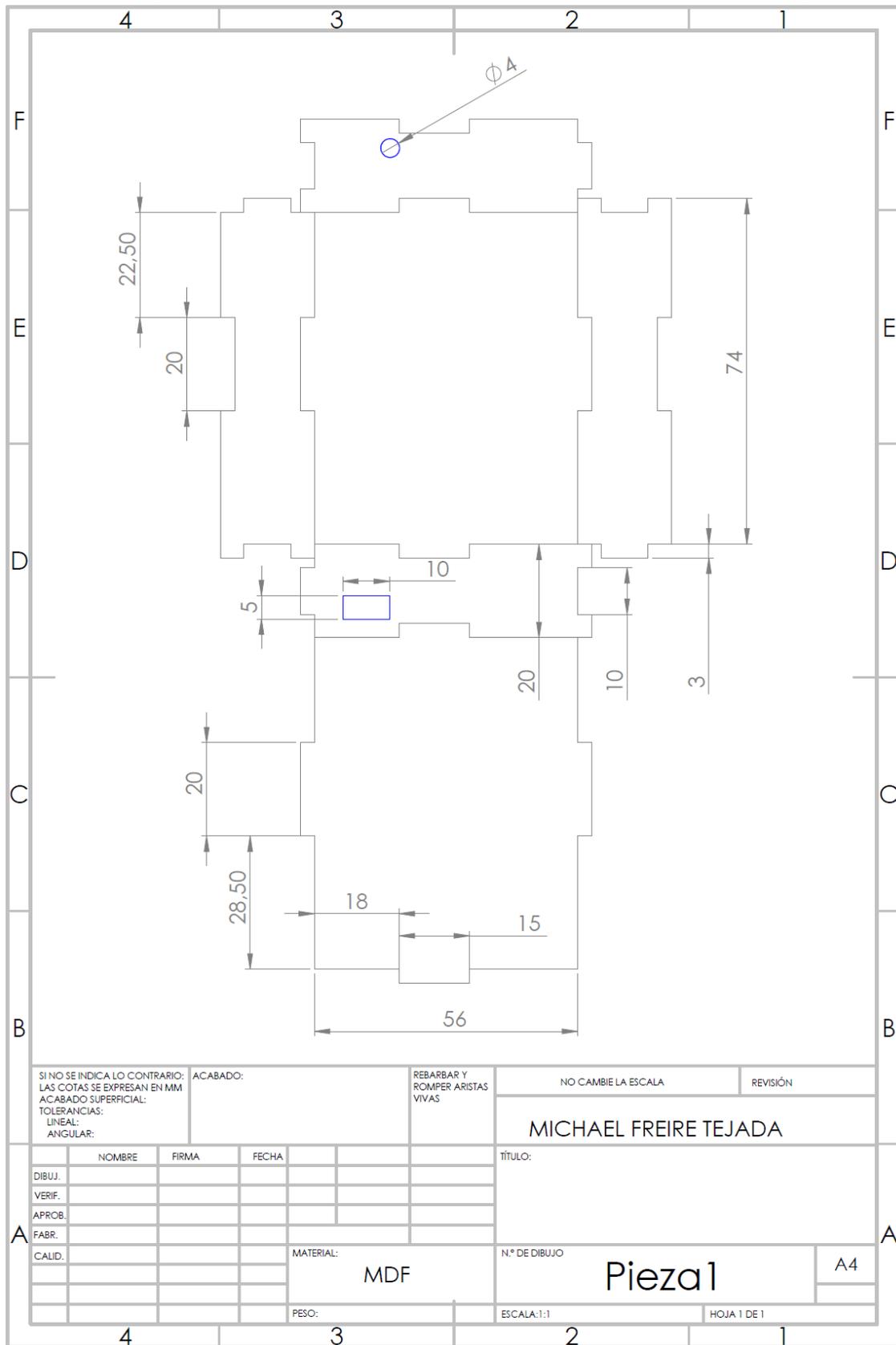
```

```

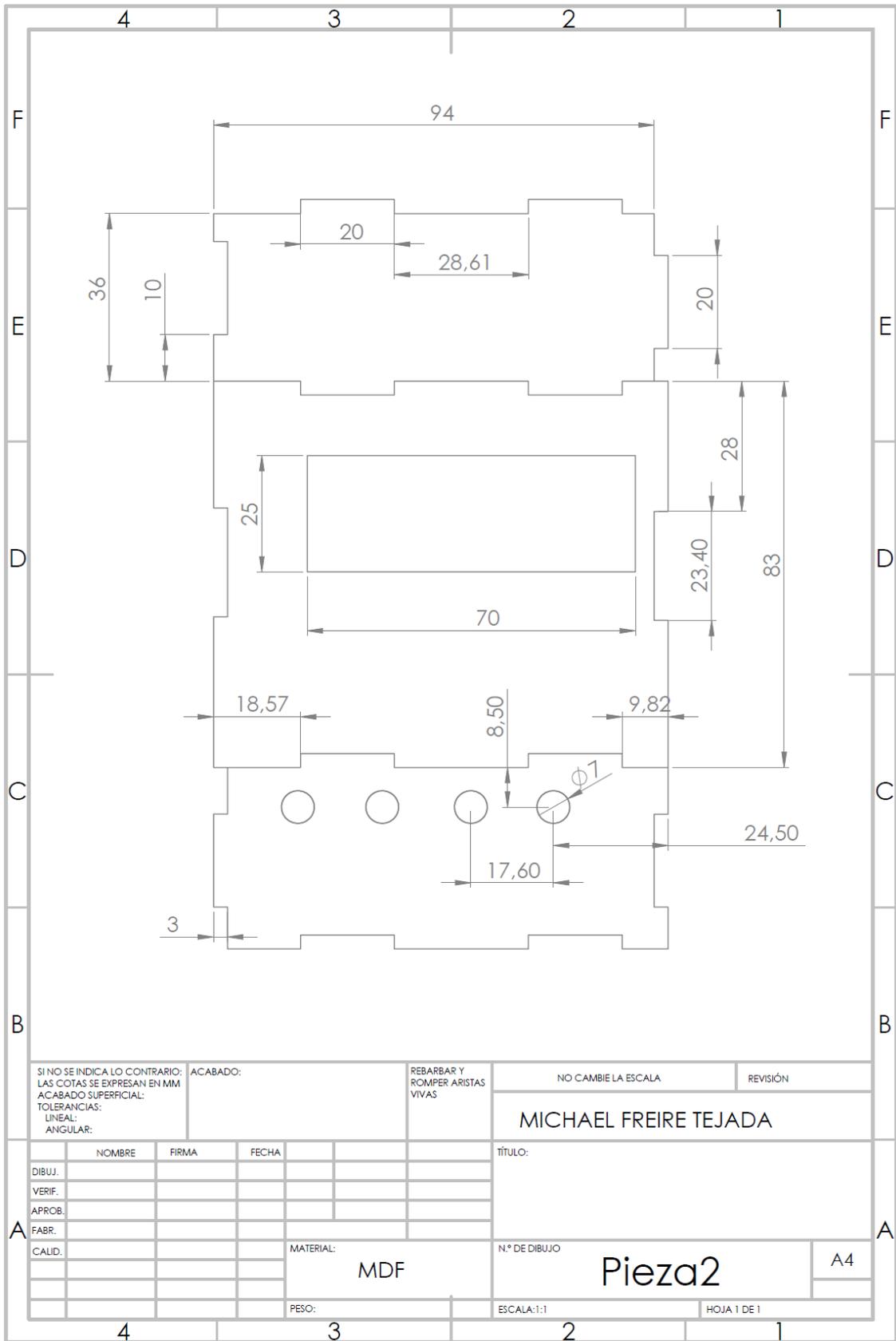
    }
    if (aux == 4 && cont <4){ //Si el auxiliar
es igual a uno se envio los datos de profundidad
        cont++; //Se coloca cada
        profundidad=profundidad + dato.charAt(i); //Se coloca cada
        caracteres en un String
    }
    if (dato.charAt(i) == 'p'){ //Si uno de los
caracteres tiene p es el inicio del valor de presión
        aux=1;
        cont=0;
        presion="";
    }
    if (dato.charAt(i) == 'v'){ //Si uno de los
caracteres tiene v es el inicio del valor de vibración
        aux=2;
        cont=0;
        vibracion="";
    }
    if (dato.charAt(i) == 't'){ //Si uno de los
caracteres tiene t es el inicio del valor de temperatura
        aux=3;
        cont=0;
        temperatura="";
    }
    if (dato.charAt(i) == 'd'){ //Si uno de los
caracteres tiene d es el inicio del valor de profundidad
        aux=4;
        cont=0;
        profundidad="";
    }
}
}
}

```

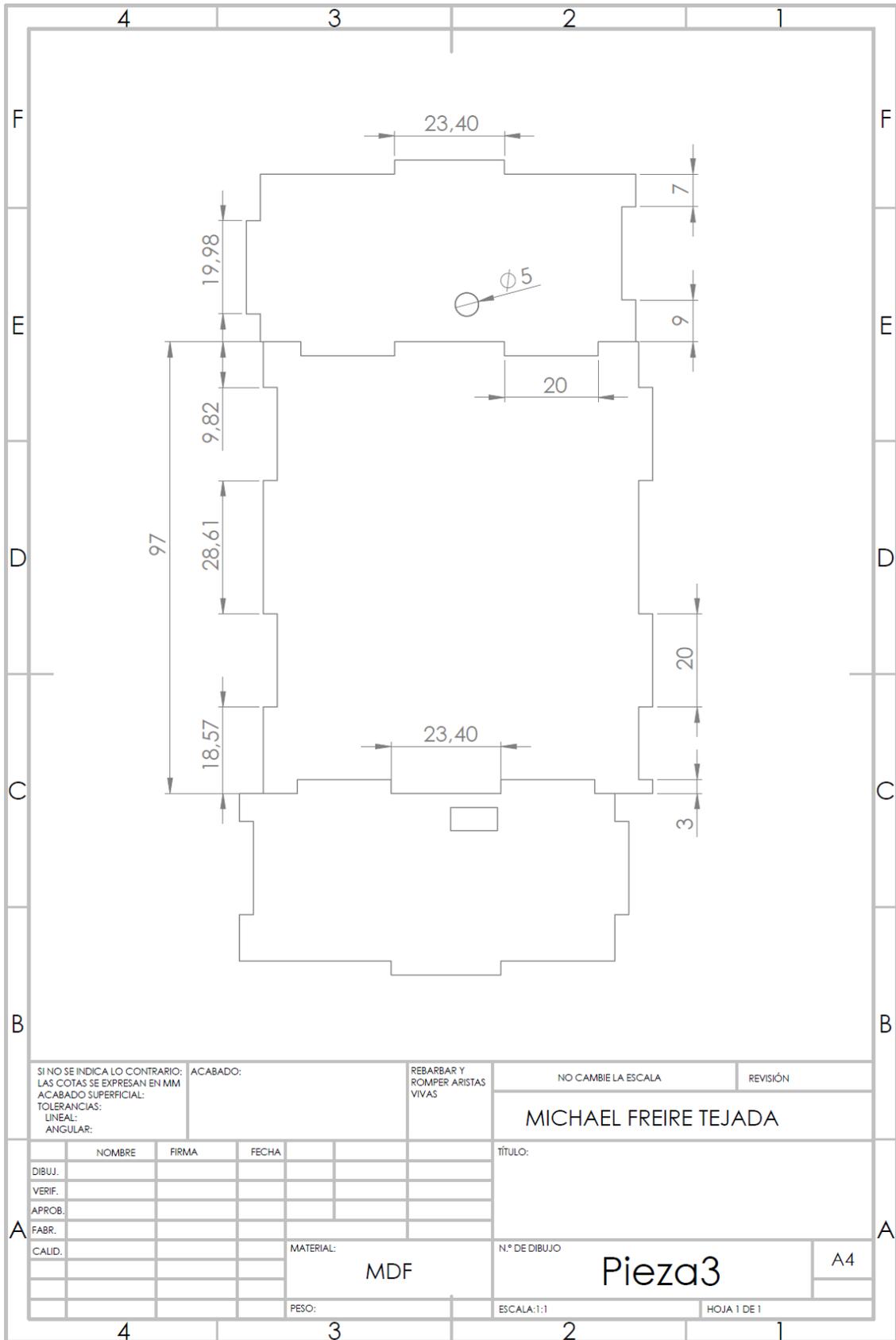
Anexo 4. Esquemas de los contenedores de módulos emisor receptor.



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
				MICHAEL FREIRE TEJADA	
NOMBRE		FIRMA	FECHA	TÍTULO:	
DIBUJ.					
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
MATERIAL:			N.º DE DIBUJO		
MDF			Pieza 1		A4
PESO:			ESCALA: 1:1		HOJA 1 DE 1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
				MICHAEL FREIRE TEJADA	
				TÍTULO:	
				N.º DE DIBUJO	
				Pieza2	
				A4	
				ESCALA:1:1	
				HOJA 1 DE 1	
MATERIAL:		PESO:			
MDF					



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
				MICHAEL FREIRE TEJADA	
NOMBRE		FIRMA	FECHA	TÍTULO:	
DIBUJ.					
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CAUID.			MATERIAL:	N.º DE DIBUJO	A4
			MDF	Pieza3	
			PESO:	ESCALA: 1:1	HOJA 1 DE 1



MCP9700/01

Low-Power Voltage Output Temperature Sensor

Features

- Tiny Analog Temperature Sensor
- Available Packages: SC70-5
- Wide Temperature Measurement Range:
 - -40°C to +125°C
- Accuracy: ±4°C (max.), 0°C to +70°C
- Optimized for Analog-to-Digital Converters (ADCs):
 - **MCP9700**: 10.0 mV/°C (typ.)
 - **MCP9701**: 19.5 mV/°C (typ.)
- Wide Operating Voltage Range:
 - **MCP9700**: V_{DD} = 2.3V to 5.5V
 - **MCP9701**: V_{DD} = 3.1V to 5.5V
- Low Operating Current: 6 μA (typ.)
- Optimized to Drive Large Capacitive Loads

Typical Applications

- Hard Disk Drives and Other PC Peripherals
- Entertainment Systems
- Home Appliance
- Office Equipment
- Battery Packs and Portable Equipment
- General Purpose Temperature Monitoring

Description

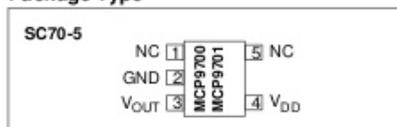
The MCP9700/01 low-cost, low-power and tiny temperature sensor family converts temperature to an analog voltage. It provides an accuracy of ±4°C from 0°C to +70°C while consuming 6 μA (typ.) of operating current.

The MCP9700/01 provides a low-cost solution for applications that require measurement of a relative change of temperature. When measuring relative change in temperature from 25°C, an accuracy of ±1°C (typ.) can be realized from 0°C to 70°C. This accuracy can also be achieved by applying system calibration at 25°C.

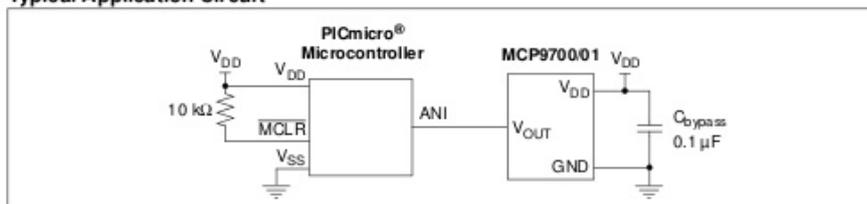
Unlike resistive sensors such as thermistors, this family does not require a signal conditioning circuit. The voltage output pin can be directly connected to an ADC input of a microcontroller. The MCP9700 and MCP9701 temperature coefficients are scaled to provide a 1° C/bit resolution for an 8-bit ADC with a reference voltage of 2.5V and 5V, respectively.

In addition, this family is immune to the effects of parasitic capacitance and can drive large capacitive loads. This provides Printed Circuit Board (PCB) layout design flexibility by enabling the device to be remotely located from the microcontroller. Adding some capacitance at the output also helps the output transient response by reducing overshoots or undershoots. However, capacitive load is not required for sensor output stability.

Package Type



Typical Application Circuit



MCP9700/01

1.0 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Absolute Maximum Ratings †

V_{DD} : 6.0V
 Storage temperature: -65°C to +150 °C
 Ambient Temp. with Power Applied:.. -40°C to +125 °C
 Junction Temperature (T_J):..... 150°C
 ESD Protection On All Pins: (HBM:MM):.. (4 kV:200V)
 Latch-Up Current at Each Pin: ±200 mA

†**Notice:** Stresses above those listed under "Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at those or any other conditions above those indicated in the operational listings of this specification is not implied. Exposure to maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

Pin Function

NAME	FUNCTION
NC	Not Connected
V_{OUT}	Voltage Output
V_{DD}	Power Supply
GND	Ground

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Electrical Specifications: Unless otherwise indicated:

MCP9700: V_{DD} = 2.3V to 5.5V, GND = Ground, T_A = -40°C to +125 °C and No load.

MCP9701: V_{DD} = 3.1V to 5.5V, GND = Ground, T_A = -10°C to +125 °C and No load.

Parameter	Sym	Min	Typ	Max	Unit	Conditions
Power Supply						
Operating Voltage Range	V_{DD}	2.3	—	5.5	V	MCP9700 MCP9701
	V_{DD}	3.1	—	5.5	V	
Operating Current	I_{DD}	—	6	12	µA	
Power Supply Rejection	PSR	—	0.1	—	°C/V	MCP9700 V_{DD} = 2.3V - 4.0V MCP9701 V_{DD} = 3.1V - 4.0V
Sensor Accuracy (Notes 1, 2)						
T_A = +25 °C	T_{ACY}	—	±1	—	°C	MCP9700 MCP9701
T_A = 0°C to +70 °C	T_{ACY}	-4.0	—	+4.0	°C	
T_A = -40°C to +125 °C	T_{ACY}	-4.0	—	+6.0	°C	
T_A = -10°C to +125 °C	T_{ACY}	-4.0	—	+6.0	°C	
Sensor Output						
Output Voltage: T_A = 0°C	$V_{0°C}$	—	500	—	mV	MCP9700 MCP9701
	$V_{0°C}$	—	400	—	mV	
Temperature Coefficient	T_{C1}	—	10.0	—	mV/°C	MCP9700 MCP9701
	T_{C1}	—	19.5	—	mV/°C	
Output Non-linearity	V_{ONL}	—	±0.5	—	°C	T_A = 0 °C to +70 °C (Note 2)
Output Current	I_{OUT}	—	—	100	µA	
Output Impedance	Z_{OUT}	—	20	—	Ω	I_{OUT} = 100 µA, f = 500 Hz
Output Load Regulation	$\Delta V_{OUT}/\Delta I_{OUT}$	—	1	—	Ω	T_A = 0 °C to +70 °C, I_{OUT} = 100 µA
Turn-on Time	t_{ON}	—	800	—	µs	
Typical Load Capacitance (Note 3)	C_{LOAD}	—	—	1000	pF	
Thermal Response to 63%	t_{RES}	—	1.3	—	s	30°C (air) to +125°C (fluid bath) (Note 4)

Note 1: The MCP9700 accuracy is tested with V_{DD} = 3.3V, while the MCP9701 accuracy is tested with V_{DD} = 5.0V.

2: The MCP9700/01 is characterized using the first-order or linear equation, as shown in Equation 3-1.

3: The MCP9700/01 family is characterized and production-tested with a capacitive load of 1000 pF.

4: Thermal response with 1 x 1 inch dual-sided copper clad.

MCP9700/01

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Electrical Specifications: Unless otherwise indicated, MCP9700: $V_{DD} = 2.3V$ to $5.5V$, GND = Ground, $T_A = -40^{\circ}C$ to $+125^{\circ}C$ and No load. MCP9701: $V_{DD} = 3.1V$ to $5.5V$, GND = Ground, $T_A = -10^{\circ}C$ to $+125^{\circ}C$ and No load.						
Parameters	Sym	Min	Typ	Max	Units	Conditions
Temperature Ranges						
Specified Temperature Range	T_A	-40	—	+125	$^{\circ}C$	MCP9700 (Note 1)
	T_A	-10	—	+125	$^{\circ}C$	MCP9701 (Note 1)
Operating Temperature Range	T_A	-40	—	+125	$^{\circ}C$	
Storage Temperature Range	T_A	-65	—	+150	$^{\circ}C$	
Thermal Package Resistances						
Thermal Resistance, 5L-SC70	θ_{JA}	—	331	—	$^{\circ}C/W$	

Note 1: Operation in this range must not cause T_J to exceed Maximum Junction Temperature ($+150^{\circ}C$).

