



UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES  
Facultad de Ingeniería  
Departamento de Electrónica

## Proyecto

Sistema de comunicación inalámbrica LoRa y telemetría para medición, adquisición, visualización, monitoreo y control de variables de campo en pozos inyectores de petróleo con protocolo LoRaWAN

14 de diciembre de 2021

Quiroga, Luis Tomás      96337      [quirogaluiustomas@gmail.com](mailto:quirogaluiustomas@gmail.com)

## 1. Diseño

### 1.1. Bloque de microcontrolador + Radio

El microcontrolador junto con el módulo de radio se encuentran integrados en una placa desarrollada por una empresa que se dedica a la producción de dichas placas para tecnología IoT. De esta manera se ahorra la necesidad de implementar tecnologías por separado y lidiar con las compatibilidades derivadas de esto.

El microcontrolador se encargará de procesar todas las mediciones que se tomen mediante sus puertos y realizar los cálculos correspondientes para luego codificar los datos a enviar, enlazarse y enviarlas según el protocolo mencionado. El módulo de radio se encargará de transmitir el dato hacia el gateway.

Se programa en C++ con el ide MbedStudio, de los mismos que proveen esta placa con el micro y el módulo.

## 2. Conclusión

Atento a los resultados de cálculos de enlace, pudo deducirse la viabilidad de tener conectados varios dispositivos a un mismo Gateway dado el gran alcance que poseen los nodos y la disponibilidad geográfica del lugar donde serán instalados. La introducción de paquetes de software open-source para monitoreo realzan el valor del producto y lo hacen más atractivo, ya que no sólo se cuenta con las mediciones y cálculos de variables de interés, sino que se vende todo un sistema de telemetría, desde la medición de las señales de interés y el estado general del sitio hasta el monitoreo de las variables procesadas en una computadora ubicada en la central de control, con el agregado, incluso, de la posibilidad de monitorearlas a través de un celular o tablet, ya sea si se elige que el servidor se encuentre en la red local o en la nube, lo que cambiará será la accesibilidad a los datos en uno u otro caso. De esta manera se logran aplicar conocimientos aprendidos durante la carrera relacionados con electrónica analógica, digital, comunicación, telemetría, control de variables de procesos, programación de microcontroladores y programación en diversos lenguajes actuales y bases de datos.

## 3. Alimentacion y Regulación

Tal como se mencionó, la idea es no tener que instalar una RTU ni llevar alimentación al sitio mediante cables, que deben ser tirados bajo tierra hasta el tablero donde se encuentran los dispositivos de telemetría. Es por ello que para la alimentación del equipo de telemetría se utilizan paneles solares y baterías. La placa se encuentra en un tablero para intemperie. Dado que el microcontrolador junto con la electrónica asociada para la adquisición de los datos debe estar alimentada por una fuente externa, lo mas óptimo es colocar un panel solar de 12V y xW. El mismo proveerá de energía a la batería de 12V 7Ah que se encontrará dentro del tablero y que alimentará la electrónica proveyendo la potencia necesaria para el correcto funcionamiento de la electrónica.

Dado que el panel puede elevarse a tensiones superiores a los 12V se debe realizar una regulación para que pueda cargar la batería, para esto se utiliza un regulador LMXXXX, con el circuito correspondiente para obtener 12V a la salida del mismo y una corriente de carga suficiente para la carga, previamente calculada, de la batería. Colgado a la salida de este regulador estará la batería con un fusible en serie para evitar excesos de corriente y evitar así algún daño. Luego se coloca otro regulador LMYYYY para bajar la tensión a una tensión de 5V de continua y aguas

abajo de esto toda la electrónica analógica de baja potencia que alimenta al micro para que éste pueda alimentar con 3.3V los amplificadores operacionales.

## 4. Programación - Microcontrolador

El microcontrolador se encuentra embebido en un placa de desarrollo que tiene preparados los pines disponibles para conexión y el módulo de radio LoRa integrado. La programación del microcontrolador se realiza en el lenguaje C++ utilizando las bibliotecas generales del lenguaje y las particulares para enlace de Radio LoRa.

### Funcionamiento del programa

Se utiliza para la medición de señal del caudalímetro, los 8 pines ADC de 12 bits de resolución disponibles como entradas analógicas, 2 entradas digitales (1 para entrar a modo configuración y otra para el switch de puerta o panel) y 3 salidas digitales (para encendido de diodos LEDS cuya codificación se explica en el manual del producto). Se permitirá a través del puerto serie, que se crea para la comunicación con la placa, la configuración de parámetros como: Tiempo límite superior e inferior del intervalo de tiempo random generado para reinicio de envío de paquete en caso de fallo, cantidad de reinicios, tiempo de permanencia en modo sleep, banda de frecuencia de operación y configuración de entradas analógicas, lo que permitirá la habilitación o deshabilitación de dicho canal de entrada. Para entrar a dicho modo de configuración se debe cambiar el jumper JMP2 del esquemático y presionar el botón MODO para la entrada digital. En la programación del micro se utilizan herramientas como timers, modos de bajo consumo e interrupciones. Para resetear la placa se debe presionar el botón NRESET, ingresando un valor bajo a la entrada PIN 5 que posee una resistencia de pullup. La configuración seteada por serie se guarda en la memoria flash del microcontrolador para que cuando se reinicie el mDot lea la última configuración guardada e inicie en dichas condiciones.

Se configura el enlace con el GW, cuyo tema se detallará en secciones posteriores, y se arman dos paquetes iniciales con valores predeterminados como inicio de comunicación. Si falla el enlace se vuelve a intentar luego de un determinado tiempo. Si llega correctamente entonces realiza las mediciones. Una vez que se toman todas las mediciones de señal de cada una de las entradas analógicas habilitadas, se calcula la frecuencia o caudal, en función de lo que se haya seteado, se arma dos paquetes de envío de 8 bytes cada uno, conformado por la información de paquetes de a 4 entradas analógicas. Cada una es de 2 bytes. Cada entrada de 16 bits se arma primero la parte alta y luego la baja.

Luego de reintentar enviar los paquetes se va a dormir el tiempo que le resta hasta el siguiente envío.

## 5. Comunicación

### 5.1. Envío del dato hacia el GW

La placa que contiene el módulo de radio se enlaza con el GW y le hace llegar el dato mediante la tecnología LoRa a través del protocolo LoRaWAN. LoRa es la capa física mientras LoRaWAN es la capa de red. Para esto, el GW que posee un servidor LoRaWAN, el cual servirá para almacenar temporalmente los paquetes recibidos. Luego publicará los mismos en el broker MQTT interno donde quedarán disponibles para los suscriptores. Para enlazar con el GW se utilizan ciertas claves de acceso, cuyas funciones están bien diferenciadas. Network Key y Application Key. Se detalla más en la parte donde explico sobre la tecnología. El tablero tendrá a su vez montado

una antena omni con ganancia de 3dBi para el envío al GW. Los cálculos de enlace se calcularon para un GW Multitech y radio xxxx.

El GW recibe 2 paquetes de 8 bytes cada uno y publica el dato así como está en el servidor de red LoRaWAN y en el broker MQTT. Se puede observar los datos que le llegan al GW y que se guardan en el servidor temporalmente, conectándose al mismo y viendo como llegan en crudo los paquetes. El GW publica en el broker los datos y una vez allí deben ser encuestados por protocolo MQTT.

El GW devuelve acknowledge cuando recibe el dato correctamente. El envío al nodo se denomina downlink. El nodo una vez que envía el dato abre una ventana de tiempo donde espera la recepción del gateway.

## 5.2. Broker MQTT

El envío de dato al broker MQTT se denomina publicar. Al dato tendrán acceso y disponibilidad todos los equipos que se hayan suscripto al broker. En nuestro caso se trabajará con 2 interfaces del NODERED, una que correrá en el GW, puesto que el mismo tiene este software corriendo dentro y otro en una computadora local en la oficina de control. La conexión con el GW en esta etapa es mediante ethernet. Este protocolo se monta sobre TCP. La herramienta utilizada para tomar el dato es Node-RED que correrá, como se dijo, en el GW y en la máquina local.

## 5.3. NODERED

El software NODERED del GW lo que hace es tomar el dato por LORA y publicar en el Broker MQTT del GW en ciertos topicos que yo defino cuando desmenuzo el dato según la información que me interese. Primero de todo, se separa el dato según el tipo de Nodo (Caudal, AIDI, RTD, etc..), luego se desmenuza en función de eso y se toma la info que interesa, por ejemplo, caudal pero también RSSI, SNR, TimeStamp, etc, de cada paquete LoRa. Cuando se termina todo esto recién ahí se publica en el broker con cada dato en su tópico. Desde el NODERED de afuera lo que se hace es tomar el dato de allí, es decir, suscribirse a los tópicos correspondientes y guardar en una tabla de la base de datos cada dato que pida por separado, es decir, RSSI, SNR, Caudal o Frecuencia, etc..por separado. Este último NODERED, se recuerda, se encontrará corriendo en una máquina local.

# 6. Análisis y Estudio

## 6.1. Descripción de la necesidad detectada

El presente proyecto se crea a partir de la necesidad que surge de un cliente de la empresa, de monitorear el caudal que fluye a través de cañerías ubicadas en lo que se denominan “distribuidores” o “satélites”, que son una red de tuberías y válvulas manuales, que distribuyen agua a muy alta presión a los pozos inyectores para así obtener un aumento en la producción de petróleo. El proceso que realizan en estos pozos se denominan “de recuperación secundaria”. Estos distribuidores pueden estar ubicados desde 2 hasta 12 km de los pozos. Los caudalímetros que tienen instalados en sitio actualmente sólo disponen de un display para indicar la variable medida con la electrónica asociada, lo que obliga a tener que enviar una cuadrilla presencialmente al lugar y tomar nota del caudal que fluye por tal cañería que se dirige a tal pozo, en lugar de que esté realizando otras tareas y evitando, además, la exposición del personal de la cuadrilla a una zona de riesgo. En la actualidad, no hay telemetría en la zona debido al alto costo que produce llevar la energía al sitio y ubicar allí una RTU (380V o 220V) con PLC, radio, antena, banco de baterías y paneles solares.

## 6.2. Breve descripción del proceso

El monitoreo de las variables en el campo resulta fundamental para garantizar un control preventivo, detectar errores y anomalías a tiempo que pudieran alterar el producto, los procesos, reducir pérdidas y entregar información confiable a los operadores y supervisores. A su vez se mantiene optimizado el proceso productivo garantizando una operación segura lo cual es una obligación según la ley n° 17.319.

La recuperación secundaria se realiza en pozos denominados “pozos inyectores”. Se los llama así porque en el proceso de extracción de petróleo hay un momento en el cual deja de haber presión para poder extraer el petróleo de la manera tradicional dejando todavía petróleo crudo aún por extraer en el fondo. Es ahí cuando se inyecta agua a alta presión para remover lo que queda y poder aprovechar al máximo la extracción de la formación. A la salida de estos pozos inyectores sale el petróleo mezclado con agua que luego irá a una planta de tratamiento con piletones y mediante procesos se procederá a realizar la separación de los químicos. El agua que se recupera vuelve a reutilizarse, por eso es importante tener el control del caudal que se está inyectando en caso de tener que reponer agua al circuito de cañerías ya que pueden haber pérdidas en el proceso.

El control se realiza sobre la presión de las bombas que llevan el agua, por un caño principal, al distribuidor. Esto se realiza en otro lugar a distancias variables del distribuidor del orden de algunos kilómetros.



Figura 6.1 – Distribuidor.

### 6.3. Situación actual

Actualmente se envía una cuadrilla a la zona, cada cierto periodo de tiempo, a tomar los datos de caudal acumulado de los indicadores, de forma manual. Esto resulta caro ya que se debe pagar adicionales para que la cuadrilla realice la adquisición de datos y por otro lado, por el costo de oportunidad de tener a la cuadrilla en otra tarea. Cabe destacar que también resulta riesgoso desde el punto de vista de la seguridad de los trabajadores ya que el fluido que circula por dichas cañerías está sometido a grandes presiones por lo que de haber un accidente se pondría en riesgo la vida del personal.

En términos generales, los sistemas de monitoreo se basan en la integración de diferentes soluciones de automatización y comunicaciones, importadas en su totalidad y que tienen un costo elevado de implementación de infraestructura.

### 6.4. Soluciones Posibles

La solución alternativa (a la situación actual) cableada también es muy costosa para poder implementarse debido a las largas distancias involucradas. Tampoco es viable, económicamente, la instalación de una RTU con PLC, radio, borneras, UPS, fuente y otros materiales necesarios para la adquisición del dato de cada cañería. Por otro lado, para el monitoreo, el costo de la programación e instalación de un SCADA resulta también poco viable en términos económicos.

### 6.5. Descripción de la solución propuesta

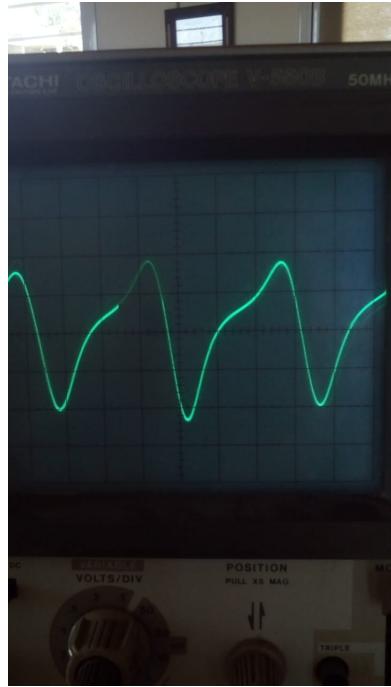
Cabe destacar que este sistema sólo sirve para procesos que no sean de vital importancia para el proceso mismo, ya que lo que se intenta hacer es tener una visualización de los datos cada cierto periodo de tiempo considerablemente amplio.

### 6.6. Investigación y Descripción de la solución propuesta

Una vez detectada la necesidad se procedió a analizar una propuesta técnica que satisfaga los requerimientos del cliente anteriormente mencionados. Para ello, se comenzó a estudiar las diferentes tecnologías que podrían brindar las prestaciones necesarias, se recopiló información de la infraestructura del cliente, esto es, conocer con qué equipos cuentan actualmente, la ubicación de los distribuidores en el yacimiento, las distancias involucradas y el estudio del proceso en sí.

El caudalímetro instalado, sin el display, posee un pickup magnético que genera una señal de salida pseudo-senoidal con una frecuencia proporcional al caudal y la constante de pulsos. (Según especificación se emiten pulsos pero en realidad es la señal mencionada, la misma fue medida). El sistema propuesto debía tomar la señal y medir la frecuencia para realizar el cálculo de caudal y luego enviarla a una central de monitoreo reduciendo los costos de materiales al máximo.

La señal proveniente del pickup es la que se muestra en la siguiente figura:



**Figura 6.2 – Señal proveniente del pickup de hasta 3Vpp.**

El caudalímetro instalado es similar al que se muestra a continuación



**Figura 6.3 – Caudalímetro con pickup magnético vista lateral.**



Figura 6.4 – Caudalímetro con pickup magnético vista frontal.

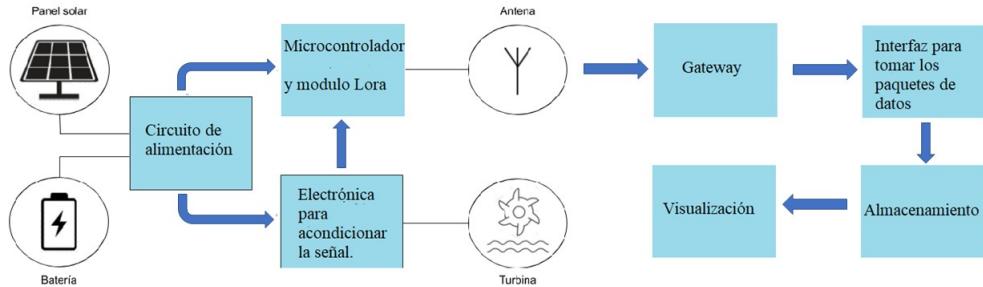
Teniendo en cuenta el requerimiento del cliente, de medir el caudal, y la necesidad de monitorear la medición de manera cómoda, en un sitio hostil como resulta ser la zona rural donde se encuentran los pozos que extraen petróleo, y descartando a su vez la posibilidad de utilizar RTU, que es lo usual para telemetría en estos sitios, debido a los costos, se procedió a analizar tecnologías que cumplan con lo mencionado.. Por un lado, se cubren las distancias involucradas en este tipo de sitios de zona rural, donde no hay interferencia debido a edificaciones, de varios kilómetros a una tasa de transferencia baja, lo cual implica a su vez un bajo consumo.

Se propuso así, desde la empresa, como solución para poder realizar una telemetría a bajo costo en procesos de estas características, y atendiendo al requisito de que la variable medida no precisa ser monitoreada constantemente sino mas bien cada cierto periodo de tiempo, la aplicación de la tecnología de comunicación inalámbrica LoRa, que utiliza protocolo LoRaWAN, y la cual brinda prestaciones viables para la implementación, ya que se cubren las distancias involucradas en este tipo de sitios de zona rural, donde no hay interferencia debido a edificaciones, de varios kilómetros a una tasa de transferencia baja, lo cual implica a su vez un bajo consumo. Además, para agregar a la solución un valor agregado del producto, se pretende realizar la adquisición de las mediciones a través un software que maneja los paquetes de datos con distintos protocolos, guardar dichos datos en una base de datos para una visualización en un dashboard que se vincule con la base de datos de manera continua.

Por otro lado, la aplicación de esta tecnología permitiría abrir posibilidades de inserción de IoT (Internet of things) a este tipo de mercado en la Argentina, ya que el auge de la industria 4.0 apunta a tener la información disponible de variables de interés para intercambiar datos y realizar, en este caso, un seguimiento remoto de procesos rutinarios de manera sencilla sin contar con una infraestructura costosa y compleja para la conectividad.

Con esta solución propuesta no sólo se mejora el estado actual sino que es una opción mejorada de la telemetría común y corriente, por todo lo mencionado. Por otra parte, al no tener que enviar cuadrilla, el cliente se ahorra viáticos y gastos con la ART para realizar el trabajo, pudiendo así destinar dichos recursos a otras tareas donde sí se precise de personal en sitio para realizar el trabajo.

El circuito del sistema, desde que se toma la señal proveniente del pickup magnético hasta que se lee la medición, es el siguiente:



**Figura 6.5 – Solución propuesta.**

Una vez seleccionada la tecnología LoRa, por todo lo detallado en secciones previas relacionadas al estudio de los protocolos involucrados, se procedió a realizar los cálculos de enlace para estudiar la factibilidad técnica y las regulaciones locales correspondientes a dicha tecnología en ENACOM.

## 6.7. Planificación del proyecto

Para la planificación del desarrollo del proyecto se realiza un cronograma tentativo teniendo en cuenta varias tareas principales que deben realizarse dado el nulo precedente de la aplicación de esta tecnología en nuestro campo de aplicación. A su vez, debe considerarse que el proyecto se realizó en situación de pandemia y las tareas del presente proyecto se realizaron de manera paralela a las demás tareas propias del sector de Automatismo.

Para la realización del diagrama de Gantt se utilizó el software “ProjectLibre” que no requiere licencia y que, como todo software de proyecto, permite asignar los recursos disponibles para dicho emprendimiento, dividir las distintas tareas, destinar tiempos de trabajo, analizar caminos críticos y costos de inversión diferenciados por persona y por bloque de tarea.

Dicho diagrama fue realizado teniendo en cuenta feriados, vacaciones y tiempos de entrega de materiales de proveedores, tanto importados como nacionales.

## 6.8. División de Tareas y Duración

En el proyecto mencionado participan varias personas y varios sectores de la empresa, lo que requiere una distribución razonable de tareas y una estimación de duración de las mismas, tal como se muestra en el siguiente cuadro

Nº tarea	Descripción	Duración
	Inicio	-
-	<b>Investigación</b>	-
3	Productos Similares	10 días
4	Protocolos de Comunicación	15 días
5	Protocolos de IoT	25 días
6	Factibilidad Técnica	30 días
7	Recopilación de información del proceso y lugar	5 días
8	Cálculos de enlace	20 días
9	Regulaciones	10 días
10	Supervisión de tareas de investigación	34 días
<b>11</b>	<b>Planificación</b>	-
12	Estudio de Mercado	10 días
13	Establecimiento de Requerimientos	20 días
14	Grupo de trabajo y tareas	5 días
15	Supervisión de tareas de Planificación	35 días
<b>12</b>	<b>Ingeniería</b>	-
17	Diseño de Software	50 días
18	Diseño de Hardware	40 días
19	Esquemático	10 días
20	Especificaciones técnicas	10 días
21	Listado de Materiales	10 días
22	Desarrollo de protocolo de pruebas	5 días
23	Pruebas básicas en protoboard	15 días
24	Diseño de PCB	10 días
25	Diseño de Montaje	10 días
26	Plan Topográfico Rev A.	15 días
27	Supervisión de tareas de Ingeniería.	175 días
<b>28</b>	<b>Compras</b>	-
29	Circuito Impreso Prototipos	15 días
30	Circuito Impreso Definitivos	20 días
31	Componentes Nacionales	15 días
32	Componentes Importados	45 días
33	Gabinete	14 días
34	Panel Solar	25 días
35	Batería	45 días
36	Antena	70 días
37	Cables para antena	30 días
38	Supervisión de tareas de Compras	149 días

**Tabla 1** – Tabla de tareas y duraciones.

Nº tarea	Descripción	Duración
<b>39</b>	<b>Programación</b>	-
40	Adquisición de entradas	15 días
41	Comunicación	10 días
42	Configuración de Gateway	5 días
43	Tratamiento de los datos con NodeRED	28 días
44	Historización en base de datos InfluxDB	20 días
45	Visualización en Grafana	20 días
46	Configuración de servidores locales	15 días
47	Supervisión en tareas de Programación	113 días
<b>48</b>	<b>Construcción</b>	-
49	Soldado de Placas prototipos	10 días
50	Soldado de placas diseño definitivo	7 días
51	Construcción de Gabinete con Panel y Antena	5 días
52	Supervisión de tareas de Construcción	71 días
<b>53</b>	<b>Ensayos</b>	-
54	Eléctricos/Electrónicos	1 días
55	Mecánicos	1 días
56	Comunicación	3 días
57	Software	3 días
58	Supervisión de tareas de Ensayos	5 días
<b>59</b>	<b>Pruebas de funcionamiento</b>	-
60	Configuración de programa	2 días
61	Mediciones	15 días
62	Validación de prototipo	10 días
63	Histórico de datos	10 días
64	Visualización	20 días
65	Supervisión de pruebas de funcionamiento	57 días
<b>66</b>	<b>Testing Final</b>	-
67	Repetición de pruebas en definitivo	10 días
68	Validación y Verificación del sistema final	10 días
69	Supervisión de Testing	20 días
<b>70</b>	<b>Documentación</b>	-
71	Manual de usuario	25 días
72	Guía rápida	25 días
73	Plano topográfico y de conexionado definitivos	15 días
74	Supervisión de Documentación	65 días

**Tabla 2** – Tabla de tareas y duraciones (*cont.*).

## 7. Desarrollo del proyecto

### 7.1. Introducción a Tecnología LoRa

#### 7.1.1. Características

LoRa, como sus siglas lo indican, es una tecnología inalámbrica de largo alcance (Long Range) diseñada para redes de baja potencia y área amplia (LPWAN, Low Power Wide Area Network), donde se envían paquetes de datos pequeños con bajo consumo a un receptor a una larga distancia.

Cuando se habla de LoRa, nos referimos a la capa física del sistema de comunicación. El protocolo que utiliza se denomina LoRaWAN.

El mismo opera en toda la banda de frecuencias no licenciada para aplicaciones industriales, científicas y médicas conocida como ISM (Industrial Scientific and Medical 902-928Mhz). la cual varía según la región geográfica. En la Argentina, opera en una porción de dicha banda del espectro radioeléctrico, conocida como AU915 (915-928 MHz) regulado por ENACOM, de uso compartido y sin autorización, según resolución RESOL-2018-581-APN-MM. La banda AU915 definida para Australia es también utilizada en otro países de latinoamérica y presenta una única desventaja respecto a otros planes de frecuencias ya que no es posible hacer comunicación full duplex y en cambio los transceptores LoRa deben operar en modo half duplex, es decir transmitiendo en un instante y recibiendo en otro.

Región	Frecuencia [Mhz]
Europa	863-870
US	902-928
Australia (Argentina)	915-928
Canadá	779-787
China	779-787, 471-510

#### 7.1.2. Canales y Sub-Bandas de Frecuencia

Como se ilustró, LoRaWAN ha ordenado y agrupado las frecuencias en canales y sub-bandas. En nuestro caso, según las especificaciones de la región se divide como se muestra en la siguiente tabla

Como se muestra en la tabla, para los uplinks existen 64 canales de ancho de banda de 125kHz comenzando por 915.2MHz y se va incrementando linealmente de a 200kHz hasta 927.8MHz. Además existen 8 canales de ancho de banda de 500kHz cada uno en su respectiva sub-banda comenzando por 915.9MHz incrementándose linealmente de a 1.6MHz hasta 927.1MHz. Cada sub-banda tiene entonces, 9 canales, 8 de 125kHz y 1 de 500kHz. Por otra parte, para los downlinks, hay 8 canales de ancho de banda 500kHz comenzando desde los 923.3MHz incrementándose linealmente de a 600kHz hasta 927.5MHz.

Esta información resulta importante para poder configurar el gateway y la programación ya que el nodo debe tener conocimiento de la sub-banda y máscara de canales por donde transmitirá y recibirá

A modo ilustrativo se muestra en la siguiente imagen un cuadro que relaciona algunas de las características de diferentes tecnologías en función del rango de alcance y la tasa de transferencia de datos.

Tecnología Inalámbrica	Comunicación Inalámbrica	Alcance [m]	Tx Potencia [mW]
Bluetooth	Corto alcance	~ 10	~ 2.5
WiFi	Corto alcance	~ 50	~ 80
3G/4G	Celular	~ 5000	~ 500
LoRa	LPWAN	2000-5000 (Ciudad) 5000-15000 (Rural)	≈20

### 7.1.3. Modulación

LoRa utiliza la técnica de modulación Chirp Spread Spectrum, la cual fue diseñada para una baja transferencia de datos, largo alcance y bajo consumo.

#### Spread Spectrum

Es una técnica o forma de esparcir o ensanchar el espectro de la señal a transmitir a lo largo de una banda mas ancha de frecuencias. Es decir, el ancho de banda de la señal que se transmite es mayor que el original

#### Chirp

Técnica de modulación en Spread Spectrum en la que se emplea un pulso que barre todas las frecuencias para expandir la señal espectral. Puede utilizar todo el espectro asignado para transmitir señales produciendo una señal que recorre el canal. Al principio de cada pulso, la frecuencia portadora se modula en frecuencia causando un ensanchado adicional en la portadora. El barrido en frecuencia se realiza de manera lineal, de mayor a menor o viceversa, en el tiempo. A continuación se muestra un ejemplo gráfico de cómo funciona

### 7.1.4. Componentes de una Red LoRaWAN

Se pueden definir 4 componentes en este tipo de redes

#### Nodo

Son los dispositivos finales, que poseen sensores y/o actuadores, que envían y reciben la información hacia y desde el gateway. Todos los nodos, como la placa de desarrollo en nuestro caso, son transceptores y deben tener un módulo de radio con antena, uno o mas microcontroladores y periféricos.

#### Gateway

Son los dispositivos encargados de recibir y enviar la información hacia los servidores y viceversa. Deben poseer también un módulo de radio con antena, un microprocesador para procesar los datos y la comunicación con los nodos debe ser bidireccional. Pueden existir múltiples GW dentro de la red que reciban datos del mismo nodo y direccionarlos.

#### Servidor de Red

Son los que permiten la administración de los nodos y manipulan la información para dejarla disponible para su posterior visualización.

### Servidores de Aplicaciones

Son todas las aplicaciones que permiten integrar aplicaciones finales para administrar, almacenar y/o visualizar los datos.

### Terminología

Cuando el nodo transmite un dato al Servidor de Red, que en nuestro caso se encuentra en el gateway, se denomina Uplink. Cuando el dato se transmite en el sentido contrario se denomina Downlink.

#### 7.1.5. Arquitectura de Red LoRa

La arquitectura de la Red LoRa se puede ejemplificar en la siguiente imagen

En nuestro caso, al utilizar el servidor de red LoRaWAN presente en el GW, la arquitectura correcta es:

A su vez, también se tiene servidores de aplicaciones dentro del GW, ya que están corriendo el NodeRED y el broker MQTT.

#### 7.1.6. Clases de Nodos

En la tecnología LoRaWAN se clasifican los nodos o dispositivos según su eficiencia energética, esto es, el consumo de batería, y las ventanas de recepción de mensajes.

##### Clase A

Son los dispositivos que menos consumen, realizan uplink al gateway y solo reciben los downlink después del envío en ventanas de tiempo cortas.

##### Clase B

Es similar al de clase A pero abre cada cierto periodo de tiempo una ventana extra.

##### Clase C

Son similares a los de la clase A pero este tipo de dispositivos está continuamente escuchando, es decir, la ventana de tiempo de recepción Rx permanece abierta. Es la clase que mas recursos y consumo utiliza.

#### 7.1.7. Adaptive Data Rate (ADR)

Es un método en el cual el servidor y gateway optimizan las velocidades de transmisión de datos a través del control de los siguientes parámetros:

- Factor de Espaciado (SF)
- Ancho de banda
- Potencia de Transmisión

La forma de proceder es que el NS (receptor de los datos en los uplinks) colecta los primeros 20 paquetes de datos y evalúa la SNR de cada mensaje. Toma el valor máximo de SNR llamado ( $SNR_{Medido}$ ) y el correspondiente Data Rate, y calcula el margen:

Si el margen es muy largo significa que el nodo está utilizando innecesariamente demasiada potencia de transmisión y, por consiguiente, mucho consumo de batería. Por este motivo, el NS optimiza este valor y se lo envía al nodo para que éste se ajuste al requerimiento. De esta manera, el nodo luego utiliza esto para transmitir a menor potencia y bajar el consumo, variando el factor de esparcimiento y el ancho de banda para optimizar la transmisión.

#### 7.1.8. MQTT

MQTT (Message Queue Telemetry Transport) es un protocolo de comunicación popular en IoT por ser liviano, rápido y relativamente sencillo de utilizar. Estas condiciones son de suma importancia dado que los dispositivos de IoT usualmente tienen limitaciones de potencia, consumo y ancho de banda.

El funcionamiento de MQTT es un servicio de mensajería con patrón publicador/suscriptor que funciona sobre TCP/IP. Es decir, existe un servidor central, que en MQTT se denomina BROKER, que reciba los mensajes, los filtra y los distribuye a los clientes.

Los clientes inician una conexión TCP/IP con el broker, el cual mantiene un registro de los clientes conectados. Por defecto, MQTT emplea el puerto 1883.

##### Broker MQTT

El broker MQTT aplica un filtrado a los mensajes que son recibidos desde los publicadores, para discriminar a qué clientes suscritos es entregado. Este filtro se denomina TOPIC, que básicamente están formado por uno o más niveles separados entre sí por una barra inclinada. Ej: Casa/Dormitorio/Temperatura

El funcionamiento de los topics en MQTT es transparente, por el lado de los clientes, los mismos pueden suscribirse a uno o varios Topic y traer los datos publicados en el mismo. El Broker recibe el mensaje y si encuentra alguna suscripción que cumpla con el filtro del Topic, transmite el mensaje a los clientes suscriptos.

Está enfocado al envío de datos en aplicaciones donde se requiere muy poco ancho de banda,

#### 7.1.9. Spreading Factor

El factor de propagación o de esparcimiento se utiliza para determinar la velocidad de transferencia de datos con relación a la distancia. Determina el número de bits usados para codificar un símbolo. En el caso de LoRaWAN se utiliza desde SF7 a SF12. El primero determina un tiempo de aire o transmisión (Time of Air) más corto mientras que el segundo es el más largo. Cada paso en el factor de propagación duplica el tiempo de transmisión para un mismo dato. Esto es, a mayor SF menor velocidad de transmisión, sin embargo, mejora la inmunidad a interferencias, y viceversa.

#### 7.1.10. Data Rate

Los parámetros anteriormente mencionados influyen en la velocidad de transmisión de datos. Existe, para la banda de operación del espectro AU915, una tabla con los valores límites para los paquetes de datos. La misma se muestra a continuación.

Data Rate	Configuración de DR	bits/s	Tamaño de Payload Máximo
DR0	SF10/125kHz	980	19
DR1	SF9/125kHz	1760	61
DR2	SF8/125kHz	3125	134
DR3	SF7/125kHz	5470	250
DR4	SF8/500kHz	12500	250
DR8	SF12/500kHz	980	41
DR9	SF11/500kHz	1760	117
DR10	SF10/500kHz	3900	230
DR11	SF9/500kHz	7000	230
DR12	SF8/500kHz	12500	230
DR13	SF7/500kHz	21900	230

La siguiente ecuación muestra explícitamente los parámetros de los que depende el Data Rate (Tasa de transmisión) como son: el ancho de banda, el SF, el CR (Coding Rate: Técnicamente hablando es la cantidad de bits extra que llevan información para la corrección de errores. Por defecto es 1)

### 7.1.11. Payload

Para transmitir paquetes de datos, ya sea en Uplink o Downlink, se utilizan arreglos de Bytes. La idea principal de la tecnología LoRa es que los paquetes de datos sean lo mas pequeños posibles y así reducir la posibilidad de interferencias y aumentar la duración de la batería.

### 7.1.12. Trama de Paquete LoRa

El formato de paquete LoRa se compone esencialmente de tres elementos:

**Preámbulo:** Es utilizado por el receptor para detectar el comienzo del paquete de datos.

**Encabezado:** Es opcional. Contiene información adicional.

**Payload:** Campo de longitud variable que contiene el dato de interés.

A continuación se muestra un ejemplo de trama

### 7.1.13. RSSI

Es la potencia con la que se recibe la información. La intensidad o potencia con la que llega el dato al gateway es muy importante a la hora de realizar los cálculos de enlace ya que el mismo es un parámetro importante para la ubicación de los nodos respecto al gateway. Esté parámetro está relacionado con la sensibilidad de recepción de las radios LoRa. Los modulos de radio utilizados en esta tecnología típicamente tienen una sensibilidad máxima de aproximadamente  $-130dBm$  en las especificaciones técnicas. Sin embargo, en la práctica este valor baja a  $-120dBm$ . Pese a esto, en comparación con la sensibilidad de las radios utilizadas comúnmente en los yacimientos, como puede ser una iNET-900, tiene un margen de enlace 1000 veces mayor, en promedio, ya que las mismas tienen una sensibilidad teórica máxima del orden de los  $-90dBm$  aproximadamente.

#### 7.1.14. SNR

La relación señal-ruido es otra característica muy importante en esta tecnología ya que es utilizada, por ejemplo, para la configuración de Adaptive Rate, como se explicó en las sección correspondiente. Normalmente, como se sabe, el piso de ruido es el límite físico de sensibilidad, sin embargo, LoRa puede trabajar por debajo de dicho nivel de potencia. Típicamente, los valores de SNR en LoRa están entre  $-20dB$  y  $+10dB$ , aproximadamente.

Por otro lado, habiendo repasado los conceptos de Factor de Espaciamiento y Tiempo de Aire. se puede mostrar a continuación una tabla que demuestra las relaciones existentes.

Spreading Factor	Límites SNR [dB]
7	-7,5
8	-10
9	-12,5
10	-15
11	-17,5
12	-20

#### 7.1.15. Seguridad

Todos los dispositivos LoRaWAN utilizan el algoritmo de cifrado AES-128 (Advanced Encrypted Standard). A su vez, LoRaWAN ofrece dos capas de seguridad

- En la capa de Red, la integridad de los mensajes es reforzada por la MIC usando la NSK. El payload es encriptado desde el nodo hasta el NS.
- En la capa de Aplicación, el payload es encriptado usando la ASK. El payload es encriptado desde el nodo hasta el AS.

#### 7.1.16. Modo de Activación

Para poder formar parte de la red y poder comunicarse con el servidor de red, los nodos necesitan ser reconocidos por la misma. LoRaWAN permite realizar dos tipos de métodos de activación.

- OTAA (Over The Air Activation)
- ABP (Activation by Personalization)

#### OTAA

Es el método mas utilizado y elegido por ser el que brinda mas seguridad para conectar los dispositivos al Network Server. La sesión se renueva cada vez que el nodo se desconecta, lo que dificulta que se pueda clonar o robar la sesión. Los nodos deben conocer y almacenar el DevEUI, la AppEUI y la AppKey.

#### DevEUI

Es un identificador único del nodo que se ubica en la etiqueta del equipo mDot, y es similar a una MAC Address.

**AppEUI**

Es un identificador para el servidor de aplicación que permite clasificar los dispositivos por aplicación. Es similar a un número de puerto de un equipo.

**AppKey**

Es una clave encriptada AES de 128 bits y sirve para generar el código de integridad del mensaje (MIC, Message Integrity Code) que asegura la integridad del mismo. Ambos, nodos y Network Server del gateway, deben tener la misma.

**Algunos conceptos****EUI**

Es un dato de 64 bits que es usado generalmente para identificar los componentes de la red.

**DevNonce**

Número aleatorio generado por el NS que evita las repeticiones de petición de unión (Join Request).

**AppNonce**

Número aleatorio generado por el NS para ser utilizado luego, junto al DevNonce, para crear las claves de sesión del servidor de red y servidor/es de aplicación.

**DevAddress**

Dirección del DevEUI dentro del mapa de la red. Es similar a la dirección IP de un dispositivo dentro de una red.

**NetWorkID**

Es un número identificador de red.

**Join**

Para la unión con el servidor de red se intercambian dos mensajes: Solicitud de unión (Join Request) y Aceptación de Unión (Join Accept). Esto se realiza de la siguiente manera:

El nodo envía el Join Request con el MIC (Código de integridad del mensaje) con el mensaje que contiene el DevNonce (número random generado que evita la repetición de solicitudes), DevEUI y AppEUI a cualquier velocidad. La petición pasa por el Gateway hacia el servidor de red LoRaWAN. El Network Server chequea que no se haya usado el DevNonce y autentica el mensaje creando su propia MIC con la AppKey y comparándola con la recibida. Si la autenticación es correcta generará una DevAddress, un NetWorkID, el AppNonce, entre otros parámetros de red, y responderá la solicitud de unión con el Join Accept adosando el MIC generado por la AppKey y un mensaje encriptado por dicha clave con los parámetros generados.

Luego de esto, tanto el nodo como el servidor de red LoRaWAN comparten el DevNonce y AppNonce. El nodo y el Network Server utilizan estos parámetros para generar dos claves de sesión: Network Session Key (NekSKey) y la Application Session Key (AppSKey). El Network Server envía la última clave y el DevAddress al servidor de aplicaciones.

La NSK es utilizada por el nodo y el NS para calcular y verificar el MIC de todos los mensajes para asegurar la integridad de los datos. También es utilizada para encriptar y desencriptar el payload.

La ASK es utilizada para asegurar la comunicación punto a punto entre el dispositivo final y el Application Server. Esta clave también es necesaria para encriptar y desencriptar el payload.

Los datos están encriptados punto a punto pero no está asegurada la integridad de los mensajes. Esto significa que el NS puede alterar el contenido de los datos, sin embargo, en la arquitectura se considera al NS de confianza.

### **ABP**

Este método no resulta muy útil debido a que las credenciales son fijas y si se cambia de red deben modificarse manualmente todas las credenciales y parámetros mencionados. Por lo tanto, no existe el Join Request, el nodo no almacena la DevEUI, AppEUI ni la AppKey. El NS tampoco almacena la AppKey.

En este método deben precargarse las credenciales.

#### **Nodo**

- DevAddress
- Application Session Key
- Network Session Key

#### **Network Server**

- DevAddress
- Network Session Key

#### **Application Server**

- DevAddress
- Application Session Key

## 7.2. Tecnología utilizada

Para la realización del proyecto se utilizaron equipos Multitech para realizar ensayos, pruebas y desarrollo. De esta manera, mantuvimos la correlación de tecnología, ya que ambos, microcontrolador y gateway son fabricados y comercializados por la misma compañía.

### 7.2.1. Microcontrolador

El microcontrolador utilizado para el proyecto es la placa denominada mDot, la cual tiene integrado el microprocesador con el módulo LoRa de RF.

Para poder descargar el programa al microcontrolador se utiliza la placa programadora que forma parte de un kit para desarrollo.

Se pueden nombrar diferentes características de la placa mDot, sin embargo, se mencionarán sólo las mas importantes.

#### Procesador STM32F411RET

- Frecuencia de operación de radio: 860-1020 MHz
- Frecuencia de Clock 96MHz,
- Memoria RAM 128kB
- Memoria Flash 512kB
- Temperatura de operación: -40 grados C a 85 grados C
- Humedad relativa: 20 % a 90 %

#### Radio SX1272

- Modulación LoRa - Spread Spectrum
- Máxima Potencia de transmisión 25dBm
- Máxima sensibilidad -130dBm
- Máxima EIRP 36dBm
- Link Budget para comunicación punto a punto 147dB

#### Alimentación

- Tensión de entrada: 3-5 V
- Consumo en Modo Sleep <50  $\mu$ A
- Consumo en Modo Activo <18mA
- Máximo de 25mA de salida en los pines I/O

### 7.2.2. Gateways

Para probar las comunicaciones se utiliza el gateway xxxxxxx, del cual ya se disponía en la empresa. El mismo posee las siguientes características

- Plan de Canal LoRa: AU915
- Capacidad de canales: 8 canales Half-Duplex
- Potencia de salida LoRa antes de la antena: 27dBm

Este gateway, si bien es indoor, posee la misma radio que el modelo outdoor, que es el modelo de los equipos que están montados e instalados en tres mástiles del yacimiento del cliente. Con esos 3 gateways cubren toda la zona.

### 7.3. Cálculos de Enlace

Los cálculos de enlace se realizan en función de la información recaudada de la ubicación geográfica de los satélites o distribuidores. Por otra parte, se requirió también la ubicación de los mástiles donde se encuentra montado e instalado el gateway, la altura a la que se encuentra y la antena que posee.

Si bien, hoy en día hay software que realizan estos cálculos, se realizan cálculos aproximados con línea de visión directa para contrastar luego. El software, naturalmente, será mas preciso pues se le cargan parámetros que tienen en cuenta los factores que afectan a las comunicaciones. Entre ellas podemos nombrar: los diferentes tipos de propagación a través de obstáculos, con linea de vista, con difracción, las pérdidas en espacio libre, la zona de fresnel, el clima, la potencia de transmisión, la sensibilidad del receptor, la ganancia de la antena, la pérdida en los cables y conectores, la frecuencia de operación, y demás.

Como requerimiento principal se tiene la linea de visión directa con el gateway, la cual es fundamental para la buena transmisión, ya que la comunicación se realiza punto a punto.

#### 7.3.1. Programa y Modelos de Elevación Digital

## 7.4. Software

Para el desarrollo del software se estudiaron diferentes posibilidades para la programación de la placa mDot. Se optó finalmente por utilizar el ide MbedStudio que es el que provee el fabricante de tecnología para IoT en mancomunión con ST, fabricamente de microcontroladores, circuitos integrados y sistemas embebidos basados en arquitectura ARM, y Multitech, fabricante de hardware y dispositivos de comunicación. Esta IDE se encontraba en versión beta, con lo cual se encontraba en fase de desarrollo y actualización pero proveía versatilidad para los equipos de dicha tecnología.

En lo relacionado al programa, se encuentra por un lado las bibliotecas y funciones dedicadas a la parte de comunicación de radio y por otro lo relacionado al procesamiento de la variable medida en campo, que en este caso puede ser caudal o frecuencia, según lo indique y determine el cliente en función del equipo instalado o a instalar.

### 7.4.1. Parámetros de Configuración

Para la adquisición de las variables y el envío de datos se deben setear ciertos parámetros de configuración que son determinados, algunos, por criterios arbitrarios, como los tiempos entre envíos o cantidad de reintentos, y otros, por el instrumento instalado, como la constante de pulsos por litro que varía según el caudalímetro.

A continuación muestra un listado de parámetros que se permiten cargar al programa del equipo a la hora de instalarlo en el sitio.

- Tiempo en Modo Sleep
- Cantidad de reintentos de envíos.
- Límite de tiempo superior.
- Límite de tiempo inferior.
- Banda de Frecuencia
- Habilitación de Entradas Analógicas
- Constantes de caudalímetros

Estos parámetros se pueden setear entrando al modo configuración del programa(Ver Manual de Operación) manteniendo presionado el botón de Modo y enchufando la placa de configuración a la placa del Nodo. Mientras el Led amarillo permanece encendido se debe abrir una terminal para realizar la comunicación serie. Se mostrará un menú de configuración con los parámetros mencionados, los cuales, luego de ser cargados se guardarán en la memoria flash del equipo. Es en esta parte donde se setea si se quiere medir caudal o frecuencia. Para el caso de la frecuencia se debe asignar una constante igual a uno o cero.

A continuación se muestran capturas del terminal y las diferentes secciones del menú.

### 7.4.2. Funciones de Parámetros

A continuación se nombrarán, detallarán y mostrarán imágenes de algunas funciones del software implementado que están relacionadas con la parte de configuración del nodo sin adentrarse en la comunicación y protegiendo la privacidad del código fuente en su completitud. Las imágenes de las porciones de código se encuentran comentadas para facilitar el entendimiento del mismo.

### Función Carga de Configuración

Ingresado al modo de configuración, se cargan los parámetros que se mencionan en la sección anterior mediante comunicación serie por medio de un menú de configuración. Dichos parámetros se ingresan y se guardan en un archivo cuyo objeto se declara en el main del programa. Cada parámetro ingresado tiene su propio espacio asignado por orden en el archivo y se escribe (o sobreescribe en caso de que ya haya información en ese espacio) y se chequea la escritura. Si hubo algún error de escritura se procede a llamar a la función que activa la salida digital correspondiente al Led de Falla.

### Funcion Leer Configuración

Cuando arranca el microcontrolador sin estar pulsado el botón de entrada al modo configuración, antes de iniciar los eventos y seteos de funciones y parámetros de radio, el programa intenta leer el archivo de configuración. En caso de que no haya sido creado o no pueda leerlo por algún motivo, arrojará error. En caso de que efectivamente pueda leerlo, irá repasando los diferentes segmentos del mismo y los cargará en variables globales para ser utilizadas luego en el bucle principal. Es en esta función donde se chequean ciertas condiciones adoptadas con criterio arbitrario, teniendo en cuenta las buenas prácticas de comunicación. Un ejemplo de estas condiciones a chequear, es la cantidad de reintentos, que no se permite que sea nulo, ya que en caso de falla de envío de algún dato el nodo iría directamente a dormir evitando así la posibilidad de análisis de pérdida de datos. No se sabría si fue por un error probabilístico o si fue porque hubo alguna falla técnica. Seguido a esto se chequea que el tiempo de sleep del nodo no sea negativo o nulo. Por otra parte, se corrobora que el tiempo de sleep no sea menor o igual al tiempo límite random superior multiplicado por la cantidad de reintentos mas uno. Por último, se controla también los límites de tiempo random superior e inferior. Si cualquiera de estas condiciones no se cumple devuelve error y el led rojo comenzará a titilar.

### Bucle Principal

En lo que respecta a la transmisión de datos, el mismo está controlado por los parámetros que determinan la cantidad de reintentos de envío en caso de falla, los límites de tiempo random superior e inferior, que determinan aleatoriedad, pero acotadamente, cuánto tiempo debe irse a dormir el nodo en caso de fallar el envío. Esto se realiza de manera aleatoria para evitar colisiones con otros nodos ya que dicha pérdida de datos puede deberse a esto. Una vez enviado el dato o no, el nodo vuelve a dormirse el tiempo restante que le queda para despertarse según el parámetro cargado de tiempo de sleep.

## 7.5. Comunicación

Teniendo en cuenta que se realiza la activación mediante el método OTAA (Over the Air Activation), el cual es el elegido por ser el mas seguro para conectar nodos al Network Server en el GW.

El modo Adaptive Rate está habilitado para poder optimizar la potencia de la señal enviada desde el nodo al GW.

Estos parámetros de configuración deben coincidir tanto en nodo como en gateway.

El programa guarda la configuración del nodo en la memoria Flash del equipo. Se setea la banda de frecuencia de operación del nodo, en nuestro caso, según regulación será la banda australiana 915-928 Mhz, se intenta realizar la activación mediante el método elegido (OTAA) y envía el Join Request con unos primeros paquetes de información del tipo de nodo para poder enlazarse. Espera a que el GW responda el Acknoledge y luego comienza a procesar las entradas para armar los paquetes correspondientes y enviar los datos. Si no recibe el Acknoledge del GW, luego de que este chequea las credenciales, espera un tiempo determinado para volver a intentar enlazarse. El número de intentos de enlace se configura en el código. Superado este número se considera desconectado.

Una vez enlazado el nodo con el GW, chequeadas las credenciales y funcionando correctamente se procede a realizar los cálculos correspondientes de las entradas y arma los paquetes de información y los envía a máxima potencia. Se hace a máxima potencia durante los primeros 20 paquetes hasta que el GW evalúa la SNR máxima recibida y el correspondiente Data Rate y calcula:

Este valor obtenido le dice al Network Server que el nodo está utilizando demasiada potencia en la transmisión, con lo cual debe optimizarse según al ecuación precedente y se lo envía al nodo para que ajuste la transmisión.

Por otra parte, como criterio utilizado, si el nodo falla al enviar un paquete, pues no recibe el acknoledge, entonces se va a dormir y espera un tiempo random calculado según los parámetros de Tiempo Superior y Tiempo Inferior que el usuario ingresó al momento de la configuración o precargado en la memoria flash para enviar nuevamente el paquete. Transcurrido este tiempo random, cuya naturaleza aleatoria fue realizada con el criterio de que no haya colisión con el paquete enviado por otro equipo, despierta e intenta enviar el dato nuevamente. Esto lo hace una cantidad n de veces seteada por el usuario. Si falla en todos los intentos entonces vuelve al modo sleep el tiempo restante predeterminado entre envíos. Es decir, al tiempo predeterminado (envío de datos cada 30 minuto) se le resta el o los tiempos random que estuvo durmiendo esperando a reintentar.

### 7.5.1. Trama de datos

La trama de datos se arma con el prefijo AABB, el cual es arbitrario e indica el tipo de nodo y sirve para identificarlo en el gateway, luego el número de paquete (00, 01 o 02) y luego los bytes de información de las señales agrupadas de a 4 señales, cada una de 16 bits (2 bytes), como se muestra a continuación:

## 7.6. Procesamiento de la señal

La señal proveniente del caudalímetro con pickup magnético, como se dijo, es una pseudoseñoidal que luego se acondiciona con el diseño del hardware, es procesada por el microcontrolador tomando diferentes criterios de diseño. Dado que en el distribuidor hay varios caudalímetros se ponen a disposición 8 entradas analógicas, las cuales se permiten mediante configuración, la habilitación o deshabilitación de las mismas. El tiempo de procesamiento varía según esta opción, ya que se demora mas tiempo si el microcontrolador debe chequear mas o menos periféricos. Se toman las muestras entrada por entrada, en cuentas según la resolución del ADC, para luego ser comparadas con un valor de umbral arbitrario de amplitud y procesadas. Se optó como criterio que dado el rango de frecuencias de trabajo de la señal (50 a 1000Hz) si la entrada está habilitada, el programa toma una ventana de tiempo equivalente a 40 ciclos de la señal para realizar el cálculo, independientemente de la frecuencia original. Si pasa 1 segundo y todavía no llegó a la mitad de ciclos que tendría la señal en el rango inferior de trabajo entonces es porque o no hay señal o es una frecuencia no permitida, está fuera del rango. Por lo tanto, deja de medir y continúa con la siguiente entrada. De esta manera se reduce el tiempo de consumo de lectura de periféricos. El numero de umbrales superados es igual al número de periodos de la señal y de esta manera dividiendo por la ventana de tiempo, obtengo la frecuencia medida. Se guardan estos valores en un vector para luego calcular el caudal, si corresponde, según la constante K (pulsos por litro) del caudalímetro correspondiente y se arma el paquete de datos colocando primero la parte alta y luego la baja. Para poder enviar el dato con un decimal de resolución, cuando se realiza la cuenta se escala y luego se reescala antes de guardarla en la base de datos.

Un proceso algo diferente sucede con la señal de corte de panel. Esta señal digital ingresa a los pines de interrupción, para generar una alarma de corte de panel, y a un pin de entrada digital que lee constantemente el estado de dicho pin. El pin de interrupción detecta cambios de flancos, tanto ascendente como descendente para despertar al nodo (pin de wake up) ya sea en caso de corte o de conexión de panel. Este se envía en un paquete de datos con la misma información de nodo pero sólo con el dato digital 0 o 1,

### 7.6.1. Funciones de Procesamiento

A continuación se nombrarán, detallarán y mostrarán imágenes de algunas funciones del software implementado que están relacionadas con el procesamiento del dato sin adentrarse en la comunicación y protegiendo la privacidad del código fuente en su completitud. Las imágenes de las porciones de código se encuentran comentadas para facilitar el entendimiento del mismo.

#### Función Calcular Frecuencia

Esta función recibe el índice del ADC que debe leer en ese momento, ya que sólo se leen los que se encuentran *Habilitadas*. Esta información se toma de la lectura de configuración guardada en la memoria flash. El chequeo de habilitación se realiza en el bucle principal.

Se crean las variables necesarias para tomar las muestras y compararlas con la variable global de Umbral y completar así, 40 ciclos de la señal. Se da comienzo a un timer que medirá el tiempo que toma contar los 40 ciclos mencionados. El dato de esta ventana de tiempo es necesaria para luego calcular la frecuencia y, posteriormente, el caudal. Se lee muestra a muestra en tiempo real y se la compara con el umbral, en cuentas. Si se supera cambia el estado de una variable que es utilizada como flag y aumenta el contador. Para ser mas precisos en el cálculo se resta al final el tiempo que toma llegar hasta el primer umbral. De esta manera, la ventana de tiempo es mas precisa al tomar la cantidad predeterminada de ciclos. Cuando la lectura no supera el umbral superior pero tampoco supera el inferior, se vuelve a cero el flag.

A modo de optimizar los tiempos de procesamiento se opta por leer el tiempo y corroborar que no haya pasado mas de 1 segundo y a su vez el contador no haya superado la mitad de ciclos prevista para la frecuencia mas baja. Si se cumple esta condición quiere decir que la entrada está habilitada pero no hay señal en dicho periférico. Es decir, el instrumento está desconectado y no se debe perder mas tiempo en leer la ausencia de señal.

Para corroboración en el desarrollo se colocó varios *printf* para ver la lectura en frecuencia, antes de convertir, si corresponde, a unidad de caudal.

### Bucle principal

Dentro del bucle principal, en lo que respecta a la adquisición de la señal, se recorre el vector de habilitaciones para saber cuales son las entradas disponibles para la adquisición de la señal y cuales no. En caso afirmativo se procede al llamado de la función mencionada en la sección anterior para guardar dicho cálculo en un vector de frecuencias. En caso de que no esté habilitada se guarda un valor nulo. Luego, se recorre el vector de parámetros K y se calcula, tomando dichos valores, los caudales correspondientes a cada instrumento, con la resolución de un decimal en unidades de  $m^3/h$ . Para asegurar el decimal de resolución se multiplica al caudal por 10 y luego se lo escala antes de la visualización. A continuación de este cálculo se procede directamente a armar el paquete de datos, según corresponda. En caso de que lo que se quiera medir es la frecuencia, en lugar de caudal, entonces se envía dicho valor, también con un decimal de resolución, y se procede a la adhesión del paquete de datos que corresponda. Por último, para el caso en que no esté habilitada la entrada se arma el paquete colocando, tanto en parte alta como baja, el valor hexadecimal FFFF.

## 7.7. Diseño de Hardware

Para poder adaptar la señal proveniente del pickup magnético debió realizarse una placa de hardware que acondicione dicha señal y permita la alimentación del microcontrolador, el módulo de radio y los componentes electrónicos para dicho propósito. Se comenzó con el requerimiento de que el circuito debe tener una autonomía razonable dado el consumo final del sistema. Para disminuir al mínimo el consumo se utilizó el circuito integrado TS3V33 basado en tecnología CMOS de bajo consumo, que contiene 2 operacionales que se encargan de tomar la señal proveniente del instrumento y enviar al ADC del microcontrolador una señal de pulsos, evitando así cualquier tipo de ambigüedad en los cálculos. La alimentación de dichos integrados es provista por el microcontrolador mediante su pin de alimentación de 3.3V. Los opamp actúan como comparadores por cero para dicho propósito, es por esto que la alimentación se encuentra entre Vcc y 0V. Como el microcontrolador tiene 8 ADC de 12 bits de resolución se necesitaron 4 de estos integrados. Se incorporaron resistencias y diodos junto al integrado para el tratamiento de la señal. La función de dichos componentes se detalla a continuación:

- Resistencia de  $1M\ \Omega$  de pullup entre entrada no inversora y Vcc para que, en caso de ausencia de señal, baje la impedancia de entrada y no capte ruido que sea tomado como señal de caudal. A su vez permite que siempre haya una tensión de entrada para continua en caso de ausencia de señal.
- Resistencia de  $220k\Omega$  de pullup entre salida del operacional y Vcc para que en caso de ausencia de señal dicho nodo no quede flotante.
- Diodo Schotky para evitar amplitudes negativas fuera del rango de operación que puedan dañar el integrado. Por otra parte, rectifica la señal eliminando el semiciclo negativo y dejando pasar sólo el semiciclo positivo.

El esquemático es el que se muestra a continuación

El microcontrolador es alimentado con 5V que provienen del regulador aguas arriba que toma la tensión de batería y la baja a la de operación.

### 7.7.1. Pin de N-Reset

#### Entrada Digital

El microcontrolador, como se mencionó, tiene entrada digital de NReset, que resetea el microcontrolador cuando por dicho pin recibe un flanco descendente. Cabe destacar que según las especificaciones, la entrada NReset debe recibir una señal Low durante un determinado tiempo, es decir, debe pulsarse el botón y mantenerse apretado. Se utiliza resistencia de pullup interna.

#### Salida Digital

Se activa el pin DO1 que envía la señal a la base de un transistor NPN BC337 que coloca a dicho dispositivo en la zona de trabajo de saturación permitiendo así el paso de corriente para encender el diodo Led que indica el correcto reinicio del microcontrolador.

### 7.7.2. Pin de Modo Configuración

#### Entrada Digital

Para entrar al modo configuración se colocó un botón pulsador que permite ingresar el estado Alto (HIGH) a dicho pin. Dicho pulsador, como se explica en el manual, debe mantenerse pulsado

hasta que se conecta la placa de configuración a la computadora. En condición normal el pin tiene una resistencia de PullDown de  $1k\Omega$  externa evitando así que el pin quede flotante cuando se encuentra en modo Run.

### **Salida Digital**

Cuando se ingresa al modo configuración se activa la salida DO2 que realiza el mismo trabajo que el pin DO1 pero con otro diodo Led de color amarillo que se mantiene encendido durante un lapso de tiempo para dar tiempo suficiente al operador para colocar la placa de configuración y entrar al terminal para cargar los parámetros correspondientes.

#### **7.7.3. Error**

Como mecanismo indicativo de error, el microcontrolador activa una salida digital a través del pin 7 DO3 que, al igual que las salidas recientemente mencionadas, envía una señal intermitente a la base de un tercer transistor que hace encender un led Rojo indicando al usuario que ocurrió algún tipo de error en los parámetros de configuración, de lectura de memoria flash o de comunicación.

Se detallan las posibles condiciones de error en el manual de usuario.

#### **7.7.4. Pines de señal**

##### **Analógicas**

El microcontrolador, como se mencionó, posee 8 ADC de resolución de 12 bits que se utilizan para las entradas de caudal. Los pines seleccionados para dichos propósitos son:

Se utilizan en su totalidad para permitir la mayor cantidad de mediciones de caudal posibles.

##### **Digitales**

Existen pines de la placa que son reservados y específicos para ciertos propósitos. Entre ellos se encuentra el pine de wakeup, que sirve para despertar al Nodo en caso de que se encuentre en modo sleep. Este pin se aprovecha puentenandolo a otra entrada digital. Dicha entrada digital es un pin que está conectado a una bornera en donde se coloca un cable que indica el estado de panel, esto es, indica si el panel continúa montado en la RTU. Esto sirve como mecanismo de seguridad para detectar el corte de panel. Si se corta el panel, esto genera un flanco descendente que hace despertar al nodo, chequear dicha entrada y enviar el estado. Por otro lado están las las entradas mencionadas en los párrafos precedentes que cumplen distintas funciones. Por último, se encuentran las salidas digitales que se utilizan únicamente para el control de modos de los transistores, los cuales tienen a su vez, sus propias funciones indicativas al operador de campo. La tensión de dicho cable puede ser provista por el regulador o por el propio mDot, según se deseé. El hecho de tener esta última señal implica tener consumo constante y es por esto que se colocó una resistencia de  $10k$  y de esta forma limitar la corriente.

#### **7.7.5. Pines de Comunicación Serie**

Para el modo configuración, se mencionó que debe ingresarse a éste mediante un pulsador que envía la señal a una entrada digital. Ahora bien, una vez que se ingresa a este modo, se deben poder cargar los parámetros de configuración mediante comunicación serie. Se utiliza la placa USB a Serie. Para ello, se colocó una serie de pines hembra de paso 2.5mm para poder conectar dicha placa al micro. Mediante los pines Tx y Rx respectivos de uno y el otro se realiza la comunicación. Como agregado, y para evitar cualquier problema circuital, se puede alimentar

al mDot durante ese momento a través del pin de alimentación de 5V que provee la placa USB a serie conectada a la notebook. Este cambio es posible gracias a un jumper.

#### 7.7.6. Jumpers

En la placa de hardware diseñada se colocaron 2 jumpers. Uno permite el cambio de alimentación que se provee al microcontrolador. Si bien, ambas son de 5V, en el caso en el que se encuentra en modo Run, el mDot es alimentado por la tensión regulada de batería. En el caso de modo configuración, existe la posibilidad, aunque no es obligatorio, de alimentarlo a través de la placa USB a Serie, que a su vez toma la alimentación del puerto USB de la computadora. Este jumper permite desacoplar el circuito de regulación del microcontrolador e integrados. El segundo jumper, es optativo, permite que, una vez desacoplado el circuito de alimentación, el mDot siga entregando tensión al cable de corte de panel pero disminuyendo el consumo ya que dicha tensión pasa de 5V a 3V proveniente del microcontrolador.

#### 7.7.7. Transistores

La alimentación de 5V que es provista por el regulador para el microcontrolador es aprovechada también por los transistores NPN BC337 que controlan el encendido y apagado de los leds indicativos mediante los modos de operación saturación y corte, respectivamente. Para el control de estos modos se alimenta la base del transistor a través de la activación de salidas digitales del microcontrolador cuando la lógica programada lo accione, según corresponda.

#### 7.7.8. Regulación de Batería

La tensión de alimentación que alimenta al mDot y, por lo tanto, al circuito aguas abajo. la provee el integrado 2940CT, el cual es un regulador de tensión que, según las especificaciones fija la tensión de salida del mismo a  $5V \pm \Delta 0,05V$ . De dicho nodo se alimentan también las mallas de salida de los transistores que controlan los leds indicadores.

El regulador 2940CT presenta una configuración propuesta por la propia datasheet para la correcta regulación de tensión mejorando el margen de estabilidad, colocando capacitores de  $47\mu F$  y  $22\mu F$  a la entrada y salida, respectivamente. También se coloca un diodo 1N4007 entre entrada y salida para protección en caso de que la tensión de entrada de batería disminuya de manera tal que el dropout permita la regulación pero que provoque un cambio en el sentido de la corriente. De esta forma, el diodo otorga un camino para la corriente evitando así que ingrese al integrado. Por otra parte, se adhirió otro diodo zener a la entrada del regulador que actúa como regulador y protector de sobretensión e inversión de polaridad, en caso de mala conexión. En serie con la entrada se coloca un fusible de 1A para proteger en caso de exceso de corriente debido a un corto o mal conexionado. En términos ideales, la entrada del regulador estará siempre por encima de los 12V, en tensiones cercanas a las del modo cycle use (Tensión de carga de batería).

#### 7.7.9. Regulación de Panel y Carga de Batería

Continuando aguas arriba de la batería se encuentra precisamente el integrado LM317 que, mediante resistencias y un preset de ajuste, fija la tensión de salida a la deseada, en nuestro caso, la tensión de cycle use que precisa la batería para que el panel pueda cargarla (Alrededor de los 14.8V. Se encuentra la especificación impresa en la misma batería). Posee los capacitores de entrada y salida propuestos por el datasheet para mejorar la respuesta transitoria y el rechazo de ripple, y un diodo de protección para el cambio de sentido de la corriente, cuando el panel ya no provee una tensión a la entrada mayor a la de batería. Provee un camino de baja impedancia

para una posible descarga del capacitor de salida. En paralelo con la entrada se encuentra otro diodo zener, al igual que en el otro integrado, para proteger de sobrepicos de tensión y proveer un camino para la corriente en caso de invertir la polaridad por una mala conexión. El panel tiene una tensión pico de 19.8V, según datasheet, aunque en la práctica pueden presentarse sobrepicos.

#### 7.7.10. Materiales de Gabinete

#### 7.7.11. Componentes

El listado de materiales utilizados para el diseño de la placa se detallan en las posteriores secciones pero es menester nombrar los componentes electrónicos principales que fueron necesarios para el funcionamiento, en una primera instancia, del circuito en su completitud. Entre los mismos se pueden destacar:

- Regulador de tensión con terminal ajustable LM317
- Regulador Low Dropout LM2940CT 5V
- Comparadores de baja potencia CMOS TS3V393
- Diodos Schottky 1N5817
- Diodos Zener 1N5357 20V
- Transistores BC337
- Diodos Led
- Resistencias 1/4 W
- Capacitores Multicapa
- Capacitores Electrolíticos

#### 7.7.12. Esquemático

Una vez elegidos todos los componentes que debería contener la placa, se procedió a realizar el diseño esquemático para posteriormente realizar el diseño de PCB. El software que se utiliza para realizar estas acciones es el KiCad, que es open source y gratuito, por lo que no requiere licencia alguna. Tiene, además, la ventaja de que como alumno de la facultad se está mas familiarizado con este software de diseño por haberlo utilizado en algunas materias.

#### 7.7.13. Diseño de PCB

Finalizado el esquemático, se asignan los footprint correspondientes a cada componente y se plantean las reglas de diseño del circuito. Al no trabajar con pistas por donde circulen señales de alta frecuencia ni de potencia, se entablaron reglas básicas para el diseño procurando tener la menor cantidad de espiras posibles y tener bien separadas las pistas de señal de las de alimentación, planos de masa y de tierra de instrumento, entre otras.

En la figura que sigue se muestra el diseño final de PCB.

## 7.8. Mediciones

Para las mediciones de los prototipos, en primera instancia, y el definitivo, en segunda, se procedió a realizar las mediciones, principalmente, de consumo ya que éste era un requisito importante. Si bien se realizaron mediciones rudimentarias sobre un protoboard al principio para poder chequear el funcionamiento de diferentes partes del circuito (como la señal de salida de los integrados, tensiones de regulación, consumo de integrados, etc), estas no fueron registradas en imágenes ya que no se creyó necesario realizar esto hasta llegar al diseño del prototipo.

### 7.8.1. Equipos utilizados

Para la realización de las mediciones y testeos se utilizaron diferentes instrumentos y equipos que ya habían disponibles en la empresa. Entre ellos se detallan:

- Gateway Multitech MTCDT L4N1 con Antena 3dBi
- Multímetro digital Fluke 117
- Osciloscopio Tektronix
- Generador de Señal Hantek 2D72
- Protoboard
- Cables con pines machos y hembra
- Conector BNC con bornera.
- Modulo de comunicación USB-Serie

Se muestran a continuación los instrumentos de medición mencionados:

Si bien se utilizó un generador de señal para poder inyectar una señal con frecuencia cuasi-constante al circuito, y así probar el funcionamiento del software y la comunicación de maneras mas precisa, también se realizó una experiencia, aunque poco exacta, con un secador de pelo de potencia que hacía girar las aspas del caudalímetro para generar la señal de salida en el pickup. La dificultad de este experimento es que debido a rozamiento por fricción era muy difícil mantener una velocidad de giro constante ya que por momentos se trababa.

A continuación se muestran las imágenes de los pickup magnéticos y caudalímetros que hay en la oficina.

### 7.8.2. Prototipo

A continuación se muestran imágenes del banco de medición para registrar el consumo total de la placa aguas abajo de la batería. El procedimiento que se realizó fue colocar una resistencia de  $3.3 \Omega$  en serie con la fuente de alimentación fija de 9.6V y medir la tensión que caía sobre la resistencia con el osciloscopio. Como lo que importaba medir era la diferencia de tensión sobre la resistencia no se tomó en consideración al momento de realizar las mediciones que el valor de la fuente difería con el valor de tensión con el que realmente se alimentará el circuito. Además, la tensión de batería puede variar con el tiempo. De todas manera, se corroboró luego en la medición con batería y panel que, efectivamente, no variaba el consumo con la fuente de alimentación.

La medición se realiza ingresando una señal por vez, de frecuencia 1kHz, amplitud 2Vpp, y se analizan los diferentes períodos de procesamiento para dos casos, cuando están todas las entradas

habilitadas pero sin señal y cuando sólo está habilitada la entrada que efectivamente tiene la señal.

**Todas las entradas habilitadas**

**Tensión Tx - Estado Estacionario**

**Tensión Rx - Estado Estacionario**

**Tensión Inicio**

**Tensión WakeUp - Cálculo**

**Tensión sin ADR en Sleep**

**Tensión sin ADR Tx**

**Tensión sin ADR Rx**

**Tiempo Tx Estado estacionario**

**Tiempo Rx Estado estacionario**

**Tiempo WakeUp - Cálculo**

**Tiempo de Espera sin ADR Tx**

**Tiempo de Espera sin ADR Rx**

**Habilitada sólo la entrada de señal**

**Tensión Tx - Estado Estacionario**

**Tensión Rx - Estado Estacionario**

**Tensión Inicio**

**Tensión WakeUp - Cálculo**

**Tensión sin ADR en Sleep**

**Tensión sin ADR Tx**

**Tensión sin ADR Rx**

**Tiempo Tx Estado estacionario**

**Tiempo Rx Estado estacionario**

**Tiempo WakeUp - Cálculo**

**Tiempo de Espera sin ADR Tx**

**Tiempo de Espera sin ADR Rx**

De esta forma, calcular el tiempo y la tensión en los diferentes estados permite estimar la capacidad de la batería que debe utilizarse, dado un determinado tiempo de autonomía.

Se registraron sólo para este caso ya que observó que las mediciones de consumo no dependían ni de la frecuencia ni de la amplitud de la señal. Se probaron para frecuencias de 50Hz, 100Hz, 500Hz y 1kHz. Por otro lado, se probaron a diferentes amplitudes, 1Vp, 500mVp y 100mVp.

### 7.8.3. Definitivo

Para analizar la repetibilidad de las mediciones, se procedió también a medir la versión definitiva y analizar las diferencias de consumo. Se esperaba que, en todo caso, se mejore la performance del dispositivo ya que no contaría con falsos contactos debido a soldaduras de estaño en pistas para realizar las vías o a pines flojos por tener que estar soldados en ambos lados de la placa y ser ejercidos luego a fuerzas mecánicas.

### 7.8.4. Pruebas de comunicación y Software

Para la prueba de comunicación se contrasta el dato con el servidor LoRaWAN del Gateway. Para ello se ingresa la dirección IP del GW en la red en un browser como por ejemplo Google Chrome, se ingresa usuario y contraseña y se accede al monitoreo de paquetes. En la siguiente figura se muestra una captura de dicha pantalla.

El dato que llega, lo hace en formato hexadecimal para lo cual se debe realizar la cuenta que se muestra a continuación para poder contrastar si la frecuencia de la señal de entrada es la correcta según el valor de caudal que se calculó y se envió en función de la constante de pulsos por litro

A modo de prueba y para evitar demoras en el envío de datos se configuró al nodo para que envíe cada cinco minutos. El gateway fue configurado para que el servidor LoRaWAN pueda publicar en el broker MQTT haciendo uso del NodeRED que corre dentro del mismo. Para la corroboración del buen funcionamiento del software en cuanto a guardado de parámetros de configuración y cálculos parciales se utilizó la comunicación serie para visualizar por terminal los datos parciales mas importantes. Se corroboró para cada entrada y se dejó al nodo varios días funcionando para probar si en algún caso se pierden datos o si se descarga de manera considerable la batería por falta de insolación.

## 7.9. Diseño de Montaje

Siendo una empresa que se dedica, entre otras cosas, a la creación de tableros RTU, se ideó diseñar una RTU pequeña con panel, batería, antena, gabinete, soportes y demás materiales para el montaje del nodo. Se procedió a diseñar una lista de materiales necesarios para la venta del producto con el caño de montaje. La misma se encuentra en la planilla de cálculos para estimación de costos, que se detalla más adelante en la sección correspondiente al análisis de rentabilidad.

### 7.9.1. Materiales de Montaje

Tal como se mencionó, el listado de materiales se detalla mas adelante, pero cabe mencionar algunos componentes fundamentales

- Gabinete Genrod Modelo 17232814
- Antena L-COM 3dBi 900MHz Omnidireccional Modelo: HG903UP-NF
- Panel Solar Solartec Modelo KS3T-12V
- Batería YUASA 12V, 7Ah, Modelo NP7-12
- Placa de hardware con mDot - Caudal
- Caño de hierro de 3"x2mts para montaje

## 7.10. Planos Topográficos

Una vez pensados los materiales necesarios para el montaje se procedió a realizar esquemas de cómo sería el montaje. Para darle una formalidad, luego se realizaron en Autocad los planos genéricos que integran el diagrama topográfico y de conexionado en uno solo.

Se adjuntará a este documento los archivos pdf con los planos.

## 7.11. Tratamiento del Dato con Node-RED

### 7.11.1. Node-RED dentro del Gateway

Una vez que el dato LoRa llega al gateway Multitech se almacena el dato en el Network Server y se accede a él mediante la interfaz gráfica NODE-RED que se encuentra instalado dentro del GW, la cual brinda bloques de funciones predeterminadas y bloques libres para que se pueda programar una función específica en lenguaje JavaScript. El dato se toma del Network Server con un formato JSON, el cual se muestra a continuación:

Como se observa en la imagen, se pueden tomar diferentes datos de interés de un mismo paquete de datos, como puede ser: SNR, RSSI, CANAL de Operación, Sub-banda de frecuencia, Data Rate, Payload (vector que contiene la medición e identificador), etc.

El paquete se filtra en el siguiente bloque, según su identificador:

Aquí lo que se hace es re-organizar el paquete y asignarle otros campos, como el campo nodo que tiene el número de paquete y se re arma el objeto payload con los campos de interés del paquete crudo y creando nuevos. Luego se separa según el número de paquete y se arman los topicos para publicar en el broker MQTT. En este bloque se realizan varias funciones. Se toman los datos de interés del Payload que se desea guardar en la base de datos e historizar. Entre ellos se encuentran:

- Relación señal ruido
- Nivel de intensidad
- DevEUI del equipo
- Estampa de Tiempo
- Data Rate
- Frecuencia de Operación
- Canal de Comunicación.

Se arma el topico principal con el nombre arbitrario que se desee seguido por el subtopico concatenado con nombre de DEVEUI. A su vez se arma el dato con resolución de 1 decimal mediante una función local llamada decopulso. Finalmente se crean los mensajes individuales con cada dato del anterior Payload por separado y se lo envía a la siguiente función para que cree el topico correspondiente que tendrá dicho dato y que luego publicará en el broker. De esta forma se tienen separada la información publicada.

## 7.12. Broker MQTT

Como se mencionó anteriormente en otras secciones, el gateway que posee el cliente y el que se tiene en la empresa para pruebas, posee un broker MQTT al cual se puede publicar los datos que se desean en cada topico y sub-tópico según el orden jerárquico que se dio, dado el proceso y las variables involucradas de posible interés. El Broker es el elemento encargado de gestionar la red y transmitir los mensajes. Los emisores y receptores deben estar subscriptos a un tópico común para establecer la comunicación. Dicha comunicación puede ser de uno a uno o de uno a muchos.

La publicación se realiza, primero configurando al gateway para que habilite el uso del Broker y asigne el puerto deseado; y segundo, utilizando el NodeRED, como se explica en la sección precedente, para crear los tópicos a los cuales se subscribirán los clientes que deseen acceder a los datos para el uso de las aplicaciones.

### 7.12.1. Node-RED de Host Local

Una vez que el dato es publicado en el broker MQTT del GW, el usuario debe suscribirse mediante este protocolo a los topicos que desee acceder. Para esto, se debe realizar mediante un Node-RED que permita traer el dato hacia el host o servidor local para que este pueda almacenarlo.

Con el primer bloque que se muestra en la figura, se realiza la subscripción al topico de interés del broker MQTT. La función parsea el dato al tipo de dato que corresponda y re-armo el Payload del mensaje. Este último es el que se guarda en la base de datos InfluxDB, diseñado para métricas, es decir, datos de tipo estampa de tiempo.

Esta parte, de todas maneras, no está disponible para el usuario.

### 7.13. Base de Datos

El servidor de base de datos que se utilizará para la etapa de almacenamiento, para su luego posterior visualización, es InfluxDB. Dicha base de datos es un software de código abierto y optimizado para los tipos de datos con estampa de tiempo. La estructura de este tipo de base de datos suelen ser muy compactas y solo necesitan contar con dos o tres columnas. Cuenta, además, con un servicio de tiempo que usa el Network Time Protocol (NTP) para garantizar que el tiempo esté sincronizado en todos los sistemas. La ventaja de este tipo de base de datos de series de tiempo es que son mucho más rápidas que las base de datos relacionales a la hora de almacenar y procesar datos de medición con marcas temporales. Una gestor de base de datos como la mencionada dedica parte de su rendimiento a la organización de un indice complejo, que en este ámbito de aplicación no se utiliza. Por otra parte, la opción paga de InfluxDB ofrece una solución en la nube para Amazon Web Services y Google Cloud Platform, con lo cual, en caso de querer escalar el proyecto hacia este rumbo puede hacerse sin demasiados inconvenientes ya que no se pierden los datos almacenados. La versión gratuita, que es la que se utiliza en este proyecto, está sujeta a restricciones de lectura y escritura de un máximo de 10000 juegos de datos y un periodo de almacenamiento máximo de 30 días. Por último, y por lo que fue seleccionada además de las ventajas mencionadas y de que está teniendo un gran reconocimiento en la industria IoT, es que permite la facilidad de vinculación con Node-RED y con Grafana, lo cual permitió llevar adelante el proyecto como fue planteado en su comienzo. De esta manera queda disponible el dato fuera del servidor LoRaWAN del gateway el cual tiene una capacidad mas reducida.

## 7.14. Visualización

### 7.14.1. Grafana

En lo que respecta a la visualización se propone el software grafana. Grafana es una software open source que permite la creación de dashboards haciendo conexión con ciertas bases de datos. Esta aplicación debe correr en la máquina local ubicada en la sala de control y monitoreo. Grafana encuesta la base de datos mediante comandos SQL cada cierto periodo de tiempo y permite trazar curvas de tendencia, gráficos de barras, mostrar sólo algunos parámetros estadísticos de la variable medida, generar alarmas y enviarlas por mail, como en este caso, si existen cambios en el estado del panel. Esto es, si se corta el panel por algún intento de robo, por ejemplo, muestra en pantalla una alerta y envía a los mails que uno desea, dicha alerta. Para poder visualizar en toda la red local lo que se debe hacer es abrir el puerto en la pc local desde el cual se ejecuta la aplicación. De esta manera, desde otra PC, tablet o celular en la red, se puede acceder a la visualización de datos ingresando al browser y colocando la dirección IP de la máquina con grafana y el número de puerto.

Este software permite crear paneles con diferentes dashboards convenientes para la visualización de diferentes tipos de datos. Estos datos son a elección del cliente aunque se propone dejar disponible el monitoreo de las principales variables de interés. A su vez, puede crearse una playlist que recorra de manera automática los diferentes paneles para evitar tener que manipular el ordenador donde estén corriendo los servidores de NodeRED, InfluxDB y el propio Grafana.

A continuación se muestra, como ejemplo, las diferentes pantallas que se pueden monitorear para un Nodo de estas características.

### 7.15. Instalación Final

## **7.16. Análisis de Rentabilidad**

### **7.16.1. Gastos de Desarrollo e Inversión**

### **7.16.2. Gastos De Producción**

## **7.17. Modelo de Negocio**

El desarrollo de lo planificado en la empresa abre paso a diferentes posibilidades de negocios y diferentes mercados. Al ser una tecnología versátil se puede adaptar según la necesidad de potenciales clientes de diferentes sectores productivos como pueden ser:

- Industrias ferroviarias, de minería, de gas & oil, de agua potable y frigoríficos, entre otros.
- Actividad agrícola en acopio de granos.
- Actividad ganadera para monitoreo de animales.
- Retails: Supermercados donde se necesite monitoreo de cantidad de personas.
- Transporte.
- Otros.