

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL COMAHUE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE ELECTROTECNIA**



**DESARROLLO DE ESTACION DE MEDICION PARA
MONITOREO DE VARIABLES AGRARIAS
UTILIZANDO INTERNET DE LAS COSAS**

Proyector Integrador Profesional presentado por

MÁRQUEZ FEDERICO GASTÓN

Ante la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Comahue para
acceder al título de

INGENIERO ELECTRÓNICO

Dirección: Ing. SIMONE DANIEL

Co-Dirección: Ing. BENITEZ PICCINI EDGARDO

Neuquén, 07 de Noviembre de 2025

RESUMEN

Este Proyecto Integrador Profesional, se centra en la implementación de dispositivos dedicados para la adquisición de datos de sensores en áreas agrícolas. Estos dispositivos están conectados a una interfaz web a través de Redes de Área Amplia de Bajo Consumo (LPWAN). Específicamente, se utiliza una red que aprovecha el protocolo LoRaWAN™, un estándar desarrollado y mantenido por la LoRa Alliance®, diseñado para la conexión inalámbrica de dispositivos alimentados por batería. Este protocolo se adopta cada vez más para aplicaciones de Internet de las Cosas (IoT).

El desarrollo se centra en el "LoRa Technology Evaluation Kit-900" de Microchip® disponible en la instalación del INTA EEA Alto Valle, el cual comprende un Gateway con una placa de radio y dos placas "MOTE" configuradas como Dispositivos Finales (End Devices) LoRaWAN® de Clase "A". El sistema inalámbrico completo opera en la banda de frecuencia de 915 MHz, bajo la especificación US915.

El sistema final integra dos Dispositivos Finales principales: Un Dispositivo Final móvil montado en una plataforma de cosecha autopropulsada, que toma su energía de la plataforma. Es responsable de recolectar periódicamente datos del sistema de microcontrolador integrado de la plataforma. Estos datos incluyen el peso de la fruta cosechada, medido por dos básculas a bordo en los contenedores de cosecha, y la posición GPS asociada donde se registró el peso.

Un Dispositivo Final estático ubicado dentro del campo de cosecha, que funciona con batería. Este dispositivo transmite datos sobre la humedad del suelo, la temperatura ambiente y la humedad relativa del ambiente.

Todos los datos recopilados se ponen a disposición del personal del INTA a través de Internet mediante una plataforma web dedicada, lo que permite el monitoreo y análisis en tiempo real de los parámetros agrícolas y de cosecha clave.

ABSTRACT

This final degree project focuses on the implementation of dedicated devices for acquiring sensor data in agricultural areas. These devices are connected to a web interface via Low-Power Wide-Area Networks (LPWAN). Specifically, a network leveraging the LoRaWAN™ protocol is utilized, a standard developed and maintained by the LoRa Alliance®, designed for the wireless connection of battery-powered devices. This protocol is increasingly adopted for Internet of Things (IoT) applications.

The development is centered around the Microchip® "LoRa Technology Evaluation Kit-900" available at the INTA EEA Alto Valle facility, which comprises a Gateway with a Radio board and two "MOTE" boards configured as LoRaWAN® Class "A" End Devices. The entire wireless system operates in the 915 MHz frequency band, under the US915 specification.

The final system integrates two main End Devices: A mobile End Device mounted on a self-propelled harvesting platform, which draws its power from the platform. It is responsible for periodically collecting data from the platform's embedded microcontroller system. This data includes the weight of harvested fruit measured by two onboard scales in the harvest bins, and the associated GPS position where the weight was recorded.

A static End Device positioned within the harvest field, which is battery-powered. This device transmits data on soil moisture, ambient temperature, and relative ambient humidity.

All compiled data is made accessible to INTA personnel via the Internet through a dedicated web platform, enabling real-time monitoring and analysis of key agricultural and harvesting parameters.

Palabra claves: **IoT, Internet de las Cosas, Internet of Thing, LoRa, LoRaWAN®; LPWAN, Agro, INTA**

Contenido

1. Introducción a Internet de las Cosas (IoT)	5
2. Marco Legal	11
3. Red Seleccionada	13
4. Introducción a Estandar LoRaWAN™.....	16
5. Descripción de Arquitectura.....	20
6. Desarrollo del Proyecto	27
7. Enlace	63
8. Pruebas de Campo	70
9. Conclusiones	74

Quiero agradecer a mis padres, Azucena y José, que sin su apoyo nada de todo lo que hice en mi vida de estudiante hubiera sido posible. A Sole mi esposa, por el aguante, el entendimiento, y el acompañamiento. A mis hijos, Agos y Leonardo, mis motores y cables a tierra en esta gran etapa.

1. Introducción a Internet de las Cosas (IoT)

El concepto de internet de las cosas fue propuesto en 1999, por Kevin Ashton, en el Auto-ID Center del MIT, en donde se realizaban investigaciones en el campo de la identificación por radiofrecuencia en red (RFID) y tecnologías de sensores. Si bien es un concepto intangible, se podría definir como el conjunto de elementos y sistemas, que permiten una interconexión masiva de dispositivos con el fin de contar con información en tiempo real, así como con la posibilidad de efectuar acciones de acuerdo a los datos recibidos. Actualmente es el paradigma utilizado en electrodomésticos, artefactos industriales e inclusive en el Agro.

A simple vista, no parece tener diferencia alguna con la utilización de un accespoint de internet para enviar y recibir datos y realizar acciones remotamente. En si el concepto de IoT va más profundo, e intenta marcar un estándar de algunas características que debería cumplimentar un dispositivo para estar incluido como IoT. Los dispositivos IoT, deben ser capaces de lograr conectarse en cualquier lugar de uso habitual. Debido a que la tendencia es que todo dispositivo, artefacto o electrodoméstico cuente en un futuro con esta posibilidad, la cantidad de datos y la manera de enviarlos debe ser eficiente. Por otro lado deben ser dispositivos y sistemas que no consuman demasiada energía para la conexión comparado con la utilizada para la función principal del dispositivo. En muchos casos esos dispositivos, sensores etc, deben ser capaces de funcionar durante tiempo prolongado (2 años o más), alimentada simplemente con pilas sin recambio en el plazo mencionado.

1.1. Tipos de Redes IoT

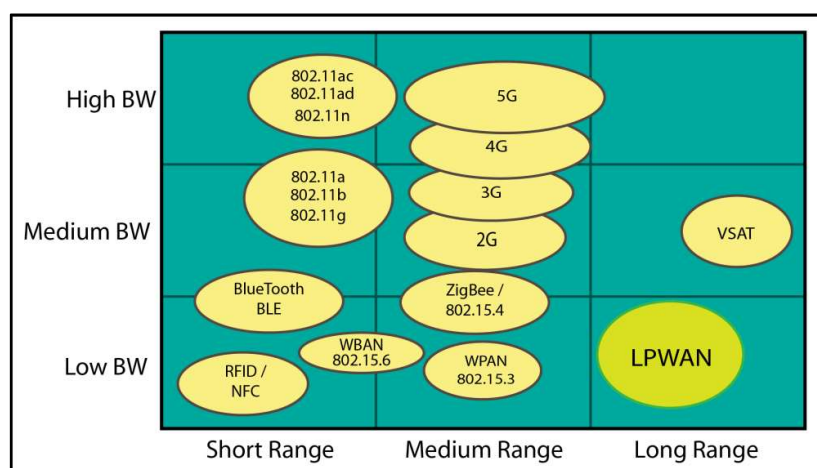


Figura 1 Comparación entre Tipos de Redes

En la actualidad se cuenta con un abanico de tipos de redes y protocolos disponibles para llevar a cabo un proyecto IoT. Como se muestra en la Figura 1, se pueden clasificar

según el Ancho de Banda que permiten manejar ($BW = \text{Bandwidth}$), y de acuerdo al Rango de Alcance. Así se observa redes de bajo alcance y poco ancho de banda como NFC (Comunicación de Campo Cercano), o BlueTooth™; y redes de ancho de banda medio y largo alcance como la VSat.

Debido a lo expuesto anteriormente, sin ser en la actualidad un determinante definido de selección de Red para IoT, ya que se utilizan cualquiera de las redes disponibles según sea posible en cada aplicación a desarrollar (Wifi, Zigbee, 4G etc), el tipo de red que más se adapta a los requerimientos expuestos más arriba para sistemas, dispositivos y redes destinado a aplicaciones bajo el concepto de internet de las cosas, cabe esperar que maneje un ancho de banda angosto, y que el alcance sea máximo con un mínimo de consumo de energía. En esta línea es donde entra en protagonismos las Redes LPWAN (Low Power Width Area Network) o Redes de Área Amplia y Baja Potencia por sus siglas en Inglés.

1.2. Redes LPWAN



Figura 2. Redes LPWAN

En la actualidad existe varias opciones comerciales de redes LPWAN. Las más difundidas comercialmente y sobre las que se hará una breve descripción son Sigfox® y LoRa®. [1]

1.2.1. SIGFOX

SigFox es una compañía de origen francés que aspira a convertirse en el primer proveedor de redes de IoT global.

SigFox es una tecnología de banda estrecha que funciona en frecuencias sub-GHz en bandas de radio industriales, científicas y médicas (ISM): 868MHz en Europa y 902MHz en América.

En lo que respecta a la cobertura, SigFox cubre 23 países y más de 1,3 millones de km². La compañía despliega sus antenas con la ayuda de las empresas de telecomunicaciones locales de todo el mundo.

En el apartado de envío de datos, SigFox impone una serie de limitaciones en los mensajes transferidos a través de la red, donde cada dispositivo puede enviar solo 140 mensajes por día con un límite de 7 mensajes por hora. Cada mensaje puede tener hasta 12 bytes de longitud. Los módulos de radio también pueden recibir 4 transmisiones entrantes por día.

SigFox gestiona completamente la comunicación entre el dispositivo IoT y la nube, lo que hace que la integración del módulo de radio sea un proceso bastante simple para el usuario. Para interactuar con el módulo de radio se proporciona una única API por lo que no se requiere configuración.

Para comenzar a integrar SigFox, será necesario adquirir un módulo de radio compatible así como un plan de suscripción para cada dispositivo, u\$s 5 aproximadamente por año por dispositivo (<https://buy.sigfox.com>).

1.2.2. LoRa / LoRaWAN

LoRa es un estándar de tecnología inalámbrica que opera en el espectro de frecuencias industrial, científico y médico (ISM). Este espectro está entre 863 y 870MHz en Europa y entre 902 y 928 MHz en América. Al igual que en el caso anterior, este protocolo de comunicación está diseñado para obtener un largo alcance y baja potencia en aplicaciones de IoT.

La tecnología LoRa fue originalmente desarrollada por Smetch, pero actualmente está administrada por la “Alianza LoRa” (<https://www.lora-alliance.org/>). De este modo, cualquier fabricante de hardware que desee trabajar con esta tecnología debe estar certificado por la alianza LoRa.

LoRaWAN se ha definido como una capa de enlace de datos (MAC) (OSI Layer 2), con algunos elementos de una capa de red (OSI Layer 3) encima de LoRa (LoRaWAN).

A diferencia de SigFox, la alianza LoRa no desea posicionarse como un proveedor de red. Su objetivo es desarrollar un estándar y vender chips. Esto significa que no hay un único monopolio en la red LoRa como sucede con SigFox.

Para utilizar la tecnología LoRa con el fin de comunicar dispositivos de IoT, existen dos alternativas:

A) Crear una red propia

Será necesario comprar los chips LoRa y desarrollar unos gateways y nodos propios. Además de crear una red propia será necesario llevar a cabo un mantenimiento y mantener actualizado todo el software necesario. Como ventaja, el usuario podrá ajustar y adaptar dicha red a sus necesidades.

B) Usar un operador de red

Actualmente, varios operadores están empezando a ofrecer redes LoRaWAN en ciertas áreas, como es el caso de Orange, Yeap, ARSAT. De este modo, pueden contratarse planes de conectividad con estas compañías evitando así el mantenimiento de la red. Esta opción tiene como desventaja que el operador puede dejar de ofertar este servicio en unos años.

1.2.3. Comparativa SIGFOX vs LoRa

Aunque ambas redes se posicionan de manera similar en el mercado de IoT, tienen importantes diferencias tecnológicas y de marketing. Si bien SigFox aspira a convertirse en un operador global de IoT, la alianza LoRa desea proporcionar una tecnología que permita a otras empresas habilitar un IoT global.

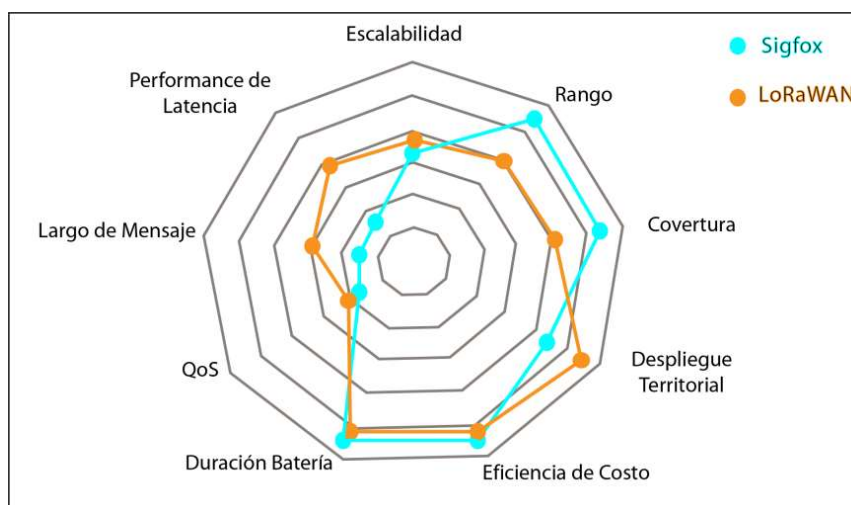


Figura 3. Comparación LoRaWAN vs. Sigfox

En la siguiente tabla se muestran sus principales características:

	SIGFOX	LORA
Frecuencia	868/902 MHz (ISM)	433/868/780/915 MHz (ISM)
Alcance urbano	3-10 km	2-5 km
Alcance en campo	30-50 km	15-20 km
Tamaño de paquete	12 bytes	HASTA 243 bytes
Nodos por punto	1M	100K
Topología	Estrella	Estrella
Tasa de Datos Adaptiva	No	Si
Permite Red Privada	No	Si
AUTENTICACIÓN Y ENCRYPTACIÓN	No Soportado	Si (AES128)

Tabla 1. Comparación LoRaWAN vs. Sigfox

1.2.3.1. Comunicación

A diferencia de SigFox, los módulos LoRa estándar pueden operar de forma bidireccional. Así, utilizando el mismo módulo de radio, un receptor puede transformarse en transmisor en cualquier momento dado y viceversa. Por lo tanto, LoRa es más adecuado para situaciones en las que sea necesario actuar sobre un determinado sistema.

1.2.3.2. Integración de Datos

En lo que respecta a la integración de los datos, SigFox ofrece una API muy simple para integrar el módulo de radio. En cambio, LoRa ofrece una API de bajo nivel altamente configurable, que posibilita diferentes optimizaciones. Por lo tanto, la integración del módulo de radio LoRa es más complicada que SigFox, pero mucho más configurable.

1.2.3.3. Tamaño de mensajes

Los mensajes de SigFox están limitados por diseño a 12 bytes. Para LoRa, el usuario define la longitud del mensaje. Para garantizar el cumplimiento de las regulaciones, los desarrolladores deben asegurarse de que los mensajes de radio no duren más de cinco segundos por aire.

1.2.3.4. Seguridad

Ambas tecnologías ofrecen funciones de seguridad. Son capaces de identificar y autenticar los dispositivos. Por otro lado LoRaWAN, ofrece comunicaciones encriptadas.

2. Marco Legal

En el año 2018, Ministerio de Modernización a través de la Resolución 581/2018 (RESOL-2018-581-APN-MM) establece la normativa necesaria para el incentivo de desarrollo de servicio de Internet de las cosas.

2.1. Resolución N 581/2018

En los artículos de del 1º al 3º se establece la base de desarrollo.

“Artículo 1º.- Las bandas de frecuencias radioeléctricas detalladas en el ANEXO [IF-2018-37880248-APN-STIYC#MM] de la presente, se declaran de uso compartido en el ámbito del territorio nacional y no requieren de autorización para su uso, debiendo respetarse las condiciones y parámetros técnicos de emisión que establezca el Ente Nacional de Comunicaciones para cada una de ellas.

Artículo 2º.- Atribúyense las bandas de frecuencia establecidas en el ANEXO [IF-2018-37880248-APNSTIYC#MM], declaradas como de uso compartido, a los servicios de tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) fijo y móvil.

Artículo 3º.- La prestación de servicios de tecnologías de la información y las comunicaciones a terceros, mediante la utilización de las bandas de frecuencias radioeléctricas de uso compartido, requiere la titularidad de una licencia de servicios de tecnologías de la información y las comunicaciones y el registro del servicio correspondiente.”

Siendo lo más trascendente, que establece una banda de frecuencia disponible para el uso de IoT. Que se deben registrar y licenciar únicamente los prestadores de servicio, por ejemplo en el Caso de LoRaWan, aquellos prestadores de Redes Públicas que vendan el acceso a sus Gateways, pero no así cada dispositivo que haga uso de esa Red Pública, siempre y cuando cumplimente las restricciones de potencia de señal, tiempo de transmisión indicadas en ANEXO [IF-2018-37880248-APNSTIYC#MM]. Así mismo, da el marco legal para que

se puedan desarrollar Redes Privadas, sin obligación de Registro o pedido de Licencia, manteniendo los requerimientos del Anexo antes citado.

2.2. Anexo IF-2018-37880248-APNSTIYC#MM

Bandas de Frecuencias (MHz)	Servicio	Tipo de Servicio	Característica	Potencia Máxima del Transmisor (Conducida) [dBm]	Potencia Máxima del Transmisor (P.I.R.E.) [dBm]
915 – 928	Servicio TIC para banda de frecuencia de uso compartido	FIJO - MOVIL	Uso Privado – Prestador	30	36
2400 – 2483.5	Servicio TIC para banda de frecuencia de uso compartido	FIJO - MOVIL	Uso Privado – Prestador	30	36
5150 – 5250	Servicio TIC para banda de frecuencia de uso compartido	FIJO - MOVIL	Uso Privado – Prestador	17	23
5250 – 5350	Servicio TIC para banda de frecuencia de uso compartido	FIJO - MOVIL	Uso Privado – Prestador	24	30
5470 – 5600	Servicio TIC para banda de frecuencia de uso compartido	FIJO - MOVIL	Uso Privado – Prestador	24	30
5650 – 5725	Servicio TIC para banda de frecuencia de uso compartido	FIJO - MOVIL	Uso Privado – Prestador	24	30
5725 – 5850	Servicio TIC para banda de frecuencia de uso compartido	FIJO - MOVIL	Uso Privado – Prestador	30	36
57000 - 71000	Servicio TIC para banda de frecuencia de uso compartido	FIJO - MOVIL	Uso Privado – Prestador	-	43

Tabla 2. Anexo IF-2018-37880248-APNSTIYC#MM

Siendo dBm:

$$\text{dBm} = 10\text{Log}_{10} \left(\frac{P_s}{1\text{mW}} \right) \quad \text{Ec. 1}$$

Donde Ps= Potencia de Salida

Y siendo Potencia P.I.R.E: Potencia Isotrópica Radiada Equivalente. Es la potencia que emitiría una antena isotrópica teórica, y sirve para comparar emisores, los cuales pueden tener distintas formas, tipo y tamaño. Por ejemplo se puede comparar una antena Parabólica con una Yagi-Guda, tomando como dato relevante la potencia emitida.

Esta se calcula como:

$$P_{PIRE} = P_{Tx} - L_c + G_a \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

P_{Tx} = Potencia Salida Transmisor [dBm]

L_c = Pérdidas en el Cable y conexiones [dB]

G_a = Ganancia de Antena [dBi]

3. Red Seleccionada

En base a todo lo indicado en el punto **1.2**, a las opciones comerciales desarrolladas en la actualidad en la República Argentina, y teniendo en cuenta la posibilidad desde el punto de vista legal, técnico y de disponibilidad de componentes, sumado a la ventaja de poder implementar redes privadas, se selecciona como base para este proyecto, el uso de una Red LoRaWAN©.

3.1. Opciones de Redes Públicas Comerciales

En la zona del Alto Valle de Neuquén y Rio Negro, al momento de desarrollar este informe, existen desplegadas 2 Redes Públicas Comerciales bajo la tecnología LoRaWAN:

- **Red de la Empresa Yeap!**
- **Red de la Empresa ARSAT**

3.1.1. Red de Empresa Yeap!

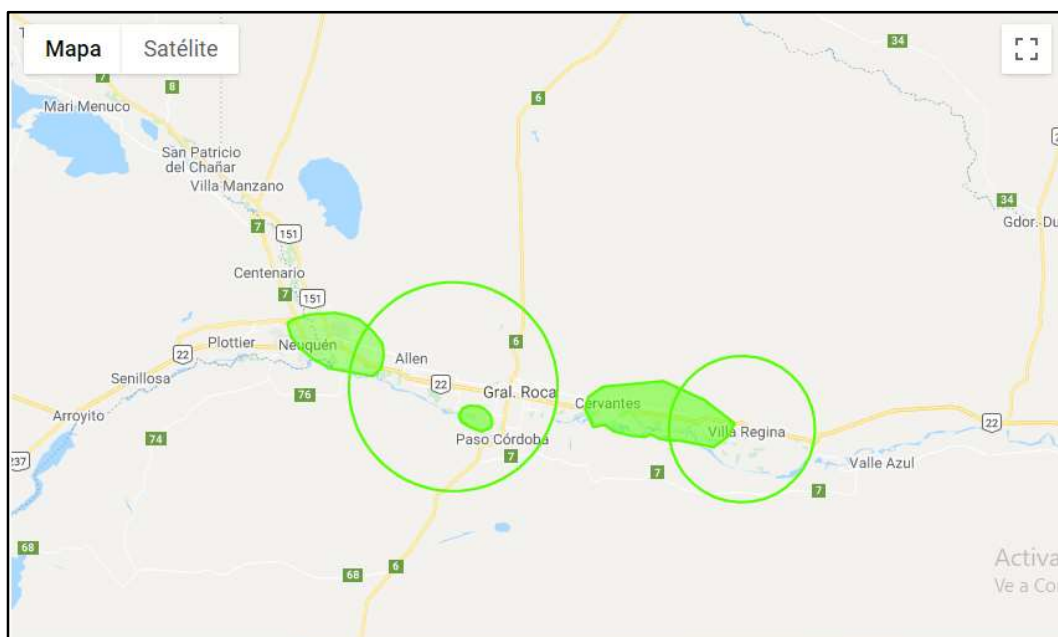
La empresa Yeap! Actualmente tiene un punto de acceso “GATEWAY” en el centro de la ciudad de Neuquén, en cercanías de la intersección de Calles Fray Luis Beltran y Avenida Cnel. Olascuaga.

3.1.2. Red Empresa ARSAT

La empresa ARSAT, está desplegando una red más amplia, sobre todo en la parte de producción agropecuaria del Alto Valle de Neuquén y Rio Negro.

Según información suministrada por la Empresa, a través de su Gerente Comercial Mg. Ing. Luis E. Tombo, las redes disponibles y proyectadas son:

Las áreas rellenas, indican las zonas iluminadas actualmente con Gateways ya instalados. Los círculos vacíos, muestran las áreas proyectadas a iluminar con nuevos Gateways a futuro.



3.2. Red Utilizada para el Desarrollo

Para el desarrollo de este proyecto se optó por la utilización de una red LoRaWAN privada, haciendo uso de un kit de desarrollo Microchip© el cual es el ***“Lora® Technology Evaluation Kit-900”***.



Figura 4. Lora® Technology Evaluation Kit-900

El Kit, tal cual se observa en la figura 4, cuenta con una placa Modem con conexión Ethernet, a la que se le adosa una placa de radio en banda 900MHz conformando un **“Gateway”** (Según Estandar LoRaWAN®). Además, cuenta con dos dispositivos MOTE, que bajo estándar LoRaWAN® funcionan como **“EndDevice”**. Ambos cuentan con display LCD, utilizan un PIC18LF45K50 como microprocesador, el cual tiene un firmware precargado con la posibilidad de enviar datos de dos sensores incorporados en la placa: Un sensor de luz y un sensor de temperatura. También contempla la opción de comportarse como vinculo transparente de comunicación serie entre el puerto USB y el Integrado encargado de la comunicación bajo protocolo LoRaWAN®. Dicho dispositivo es el RN2903 en banda 915MHZ. Cada MOTE tiene la posibilidad de ser alimentado por un par de baterías AAA así como a través del puerto USB.

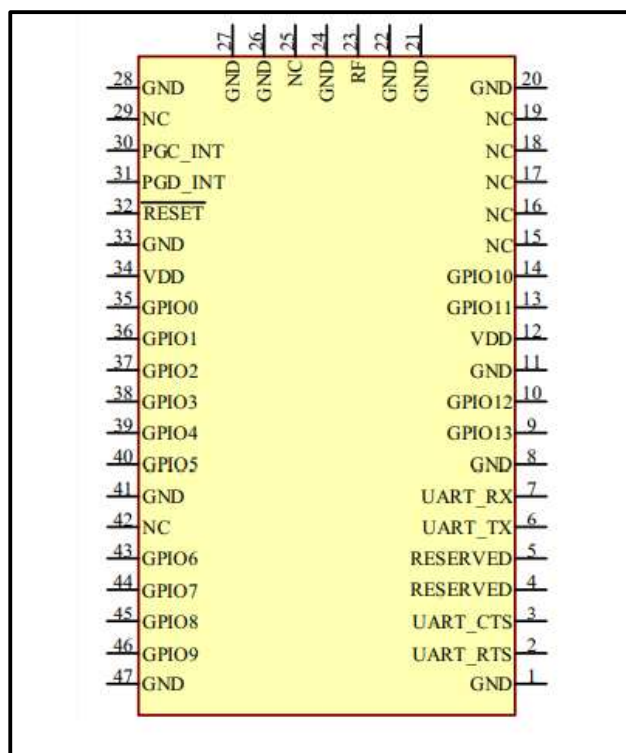


Figura 5. Módulo RN2903 Microchip

El kit de desarrollo cuenta con un conjunto de softwares de configuración agrupados en el **“Lora® Technology Evaluation Suite”**. Además de permitir la configuración de cada componente del Kit cuenta con la posibilidad de armar una red simulando todos los componentes de una Red LoRaWAN montados en una computadora.

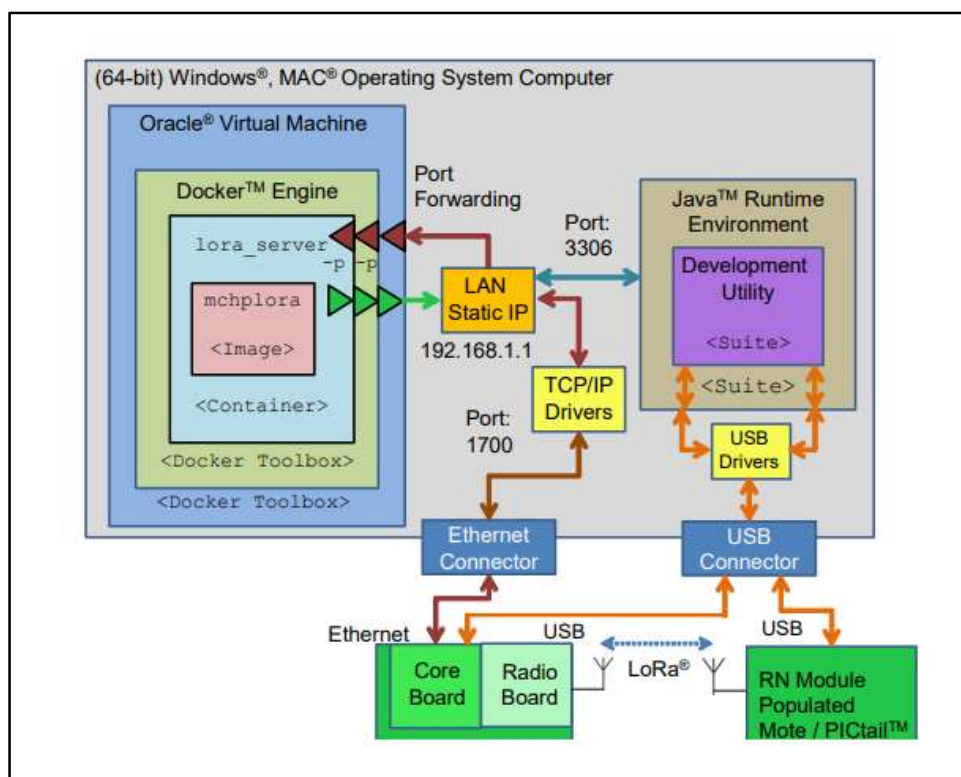


Figura 6. Red LoRaWAN del Kit Microchip

Tal como se ve en la figura 6, en una computadora se ejecuta una máquina virtual que aloja un **“Network Server”** conectado mediante TCP/IP al Gateway. En la misma computadora corre el Software **“Development Utility”**, el cual se comunica mediante USB a uno de los MOTE EndDevice. De esta manera se puede probar el firmware precargado en cada Mote y verlo reflejado en la máquina virtual cerrando el ciclo del viaje de un mensaje transmitido por Radio bajo protocolo LoRaWAN.

Esto solo se muestra a modo informativo para presentar los componentes principales utilizados para el proyecto, ya que debido a la rigidez del esquema mostrado en la figura 6, se utilizarán el Gateway haciendo uso de Networks Servers públicos, y el MOTE con un firmware adaptado al objeto de este proyecto Integrador.

4. Introducción a Estandar LoRaWAN™

LoRaWAN™ es un protocolo de red, optimizado para dispositivos energizados con baterías. Estos dispositivos pueden ser móviles o montados en lugares fijos.

Las redes LoRaWAN™ se disponen en formato **“Estrella de Estrellas”**.

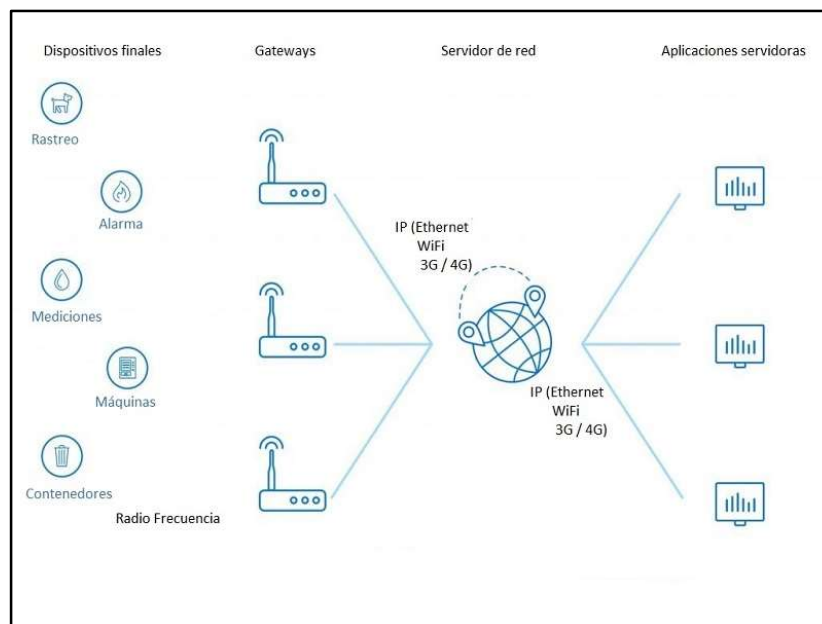


Figura 7. Arquitectura LoRaWAN

Como se ve en la figura 7, los **Dispositivos Finales** (END-DEVICE) se conectan mediante comunicación LoRa™ o FSK a uno o más **Gateways**. El Gateway que recibe el mensaje lo re direcciona a un **Servidor de Red** (NETOWRK SERVER) central a través de una conexión IP estándar. Luego los datos se publican en una **Aplicación** (Application) [<https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/architecture/>].

La comunicación entre end-devices y Gateways se transmite en diferentes canales de frecuencia y tasa de transferencia de datos (Data Rates). La selección de la tasa de transferencia depende de una compensación entre rango de comunicación y duración del mensaje. Comunicaciones con diferentes tasas de transferencia, no se interfieren entre sí. El rango de tasas de transferencia de datos de LoRa va de 0,3 kbps a 30 kbps. Para maximizar tanto la duración de la batería de los end-device y la capacidad de la red en general, la infraestructura de la red LoRa puede manejar la tasa de transferencia de datos y la salida de RF para cada dispositivo, o sea utilizar un esquema de transferencia de datos adaptativa (ADR por sus siglas en inglés).

Los end-devices pueden transmitir sobre cualquier canal disponible en cualquier momento, usando cualquier tasa de transferencia disponible, siempre y cuando respete las siguientes reglas [**LoRaWAN® L2 1.0.4 Specification**] :

- Los end-devices cambian de canal de manera pseudoaleatoria por cada transmisión. La diversidad de frecuencia hace el sistema más robusto a interferencias.

- Los end-devices respetan el máximo ciclo activo de transmisión relativo a la sub-banda usada y a las regulaciones locales.
- Los end-devices respetan la máxima duración de transmisión relativa a la sub-banda que utilice y a las regulaciones locales.

4.1. Clases LoRaWAN

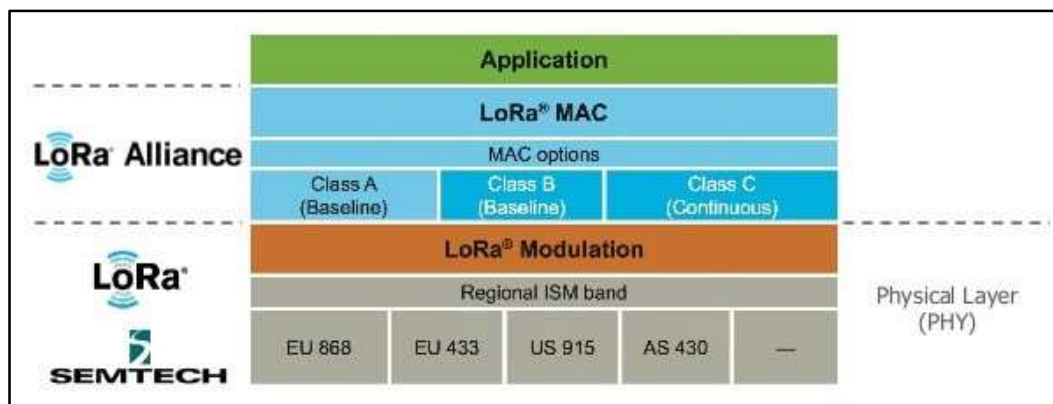


Figura 8. Clases LoRa

El estándar LoRaWAN, contempla tres clases de dispositivos END-DEVICE:

- **Clase A:** Los dispositivos clase A, permiten comunicación bidireccional con la particularidad de que un mensaje desde la Aplicación a través del Servidor de Red, solo puede ser recibido en dos ventanas de tiempo luego de que el end-device realice una transmisión de datos. Por lo que es el end-device el que inicia la comunicación y si la aplicación necesita enviar datos o comandos al dispositivo, debe aprovechar una de las dos ventanas de recepción. Los dispositivos Clase A son los que menor consumo de energía pueden lograr.
- **Clase B:** Los dispositivos clase B, además de las ventanas de recepción de los Clase A, genera ventanas extras de recepción en tiempos prefijados. Este tiempo prefijado es enviado desde el Gateway.
- **Clase C:** Estos dispositivos tienen ventanas de recepción seguidas y abiertas continuamente, solo se cierran cuando el dispositivo transmite. Estos dispositivos consumen mucha más energía que uno clase A o B pero tiene la menor latencia en la comunicación desde el servidor al end-device.

Debido a que las redes públicas desplegadas en la región, están apuntadas a dispositivos clase “A”; por otro lado, la mejor performance en cuanto a uso de energía, es que se elige para el desarrollo de este proyecto dispositivos clase “A”.

4.2. Recepción de Mensajes en Dispositivos Clase “A”

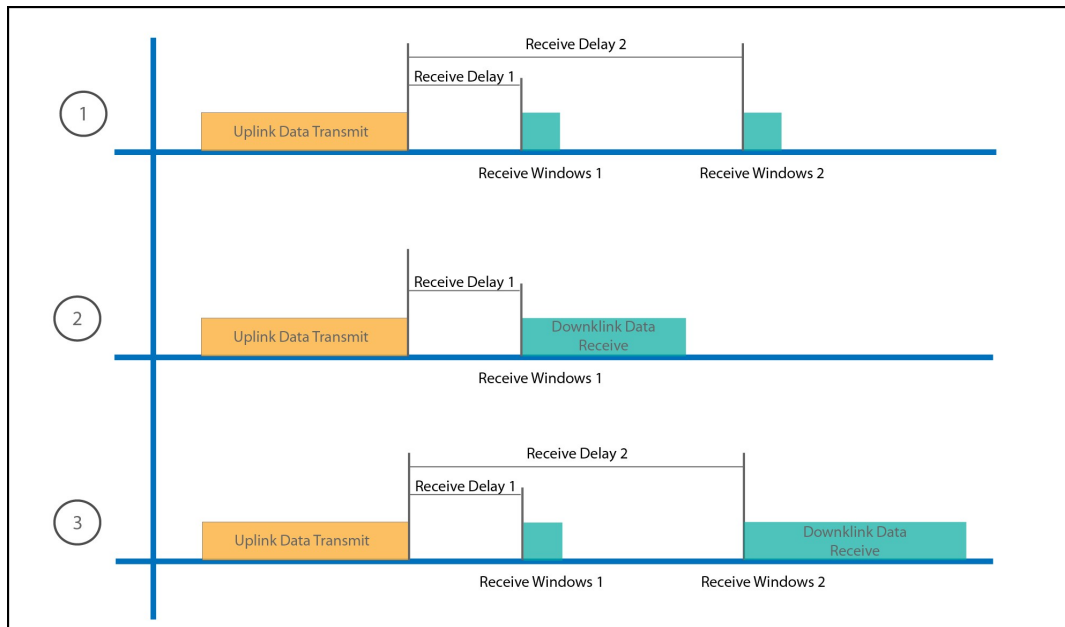


Figura 9. Ventanas Recepción End-Device Clase A

Como se observa en la figura 9, un tiempo después (Receive Delay 1) de que termine una transmisión de datos desde el end-device hacia el Gateway, se abre la ventana de recepción uno, en el caso de “1”, si no se recibe ningún dato, luego de un tiempo que se cuenta desde la finalización de la transmisión precedente (Receive Delay 2); se abre la segunda ventana de recepción. La duración de cada ventana de recepción debe ser como mínimo la suficiente para que el end-device logre reconocer un paquete de recepción. La duración máxima está limitada por las regulaciones regionales.

Si durante la ventana 1 de recepción se recibe datos dirigidos a ese end-device, no se abre la segunda ventana de recepción como se ve en “2”.

En caso de que durante la primera ventana de recepción no se reciban datos, se abre la segunda ventana de recepción y si se detecta paquete de entrada se reciben los datos, como se ve en “3”.

El end-device solo puede transmitir otro mensaje, cuando haya expirado el tiempo de duración de la segunda ventana de recepción en “1”, o cuando haya terminado de recibir el último paquete del mensaje en “2” o “3”.

5. Descripción de Arquitectura

Como se ve en la Figura 7, la arquitectura consta de 3 elementos principales, un End-Device, un Gateway, y un Network Server. A esto hay que sumarle una “Aplicación” que sería la interface final en la cual el usuario final accede a los datos de interés, en un formato adecuado para ser entendidos, analizados y registrados a modo de historial si fuese de su interés.

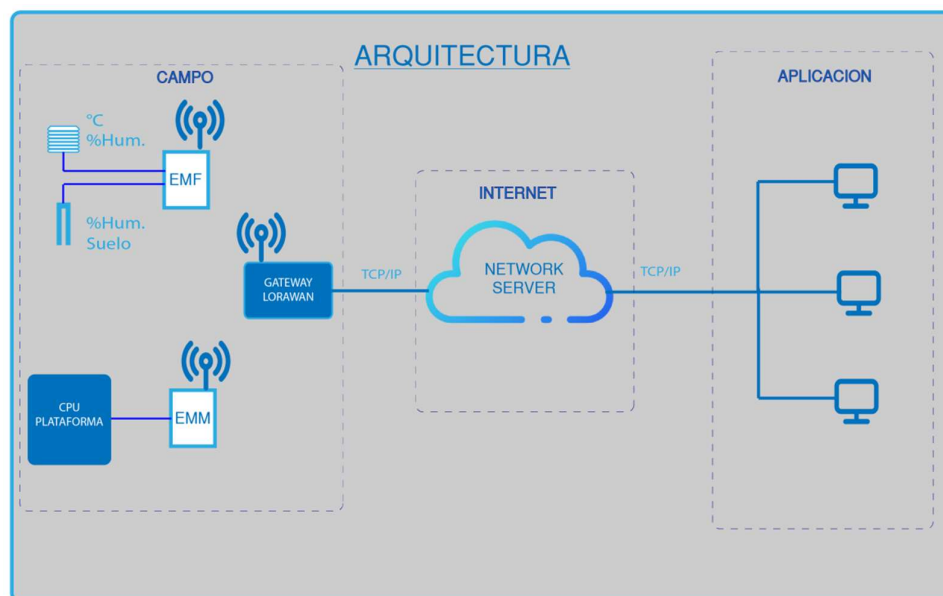


Figura 10. Arquitectura usada en PIP

En particular, en este proyecto, se utilizan dos End-Device, EMF (Estación de Medición Fija) y EMM (Estación de Medición Móvil). El primero, se utiliza para la obtención de tres variables de interés, a través de dos sensores: Temperatura ambiente y humedad relativa ambiente, a través de un sensor DHT22, y humedad de suelo a través de un FC-28. El “EMM”, se utiliza para la obtención de datos de interés propio de la plataforma de cosecha autopropulsada; pesos de dos balanzas montadas sobre la plataforma, que indica el peso cosechado en dos bines, y la geolocalización de cada dato de peso recolectado. También se envía el modo de obtención de los datos y estatus de funcionamiento de la computadora de abordo. Cada elemento se describirá más adelante.

Ambos End-Device, se enlazan con el Gateway del kit descrito en 3.2, el cual mediante conexión cableada TCP/IP, a través de reenvío de paquetes, permite la llegada de los valores de las variables medidas en campo, hasta el Network Server alojado en un servidor de Internet. Como se puede observar en la arquitectura de la **figura 10**, tanto los End-Device y el Gateway se encuentran en la locación donde se medirán las variables. Esto es así porque para este proyecto se desarrolló esta red privada a fin de validar la utilización de tecnología LoRaWAN, en este tipo de aplicación. En casos más generales, el Gateway podría ser propiedad de una empresa que brinde el servicio de conectividad, como las indicadas en 3.1.

Una vez que los datos están disponibles en el Network Server, estos pueden ser direccionados a una base de datos de un servidor para ser procesados e historizados, permitiendo acceder a ellos a través de una interface web en la etapa de aplicación tal como se muestra en la **figura 10**.

5.1. Funcionamiento de la Arquitectura

En rasgos generales, el núcleo de la arquitectura es el “Network Server”. Este es el encargado de reconocer si el End-Device que manda datos está habilitado para ello, y direcciona la información hacia la aplicación y viceversa. Además, se encarga de administrar la validación de dispositivos para integrarlos a la arquitectura.

5.1.1. Validación de un End-Device (*LoRaWAN® L2 1.0.4 Specification* *Cap. 6*)

El estándar LoRA, establece un mecanismo con dos alternativas, por el cuál un dispositivo puede ser validado para interactuar en una arquitectura Lora definida. Este mecanismo es el “JOIN REQUEST”, o pedido de unión. Para ello las dos alternativas disponibles son “OTAA” (Over the Air Activación) y ABP (Activation By Personalization). La diferencia principal radica en la cantidad de datos que hay que configurarle al módulo Lora del End-Device para que logre unirse a la red a saber:

OTAA:

- **DevEUI (Identificador End-Device Único):** Identificador de 8 bytes. Este debe ser único para cada dispositivo en una misma Red.

- **JoinEUI (Identificador de Servidor de JOIN):** Identificador de 8 bytes, que identifica el servidor dedicado que realizará el manejo de unión a la red.
- **AppKey (Clave de Aplicación AES-128):** Una Clave de 16 bytes que genera la encriptación necesaria para generar dos claves de sesión, AppSKey (Clave de sesión de Aplicación) y NwksKey (Clave de sesión de Red).

De esta manera en el modo OTAA, los datos a pre-configurarle al módulo Lora antes de unir a la red son: DevEUI, JoinEUI, AppKey, y la red le carga al módulo los siguientes datos, AppSKey y NwksKey, y el DevAddress. Este último es un identificador de 32 bits, que diferencia a cada End-Device dentro de la Red.

ABP:

- **DevEUI (Identificador End-Device Único):** Identificador de 8 bytes. Este debe ser único para cada dispositivo en una misma Red.
- **AppSKey (Clave de sesión de Aplicación):** es un código de 16 Bytes específico para el End-Device, que se utiliza para encriptar y des encriptar, los datos enviados dentro de la trama Lora.
- **NwksKey (Clave de sesión de Aplicación):** Identificador de 16 Bytes, específico del End-Device, y es usado tanto por el Network Server como el dispositivo, para calcular la MIC (Código de integridad de Mensaje por sus siglas en inglés), para asegurar la integridad de los datos.

En el caso de unión vía ABP, se le carga directamente los parámetros necesarios para interactuar con el Network Server (NS). Estos parámetros son generados por el NS en el momento que se configura la red. Esto será descripto más adelante en el punto 6.4.2.

A primera vista, no hay diferencias en cómo funcionará finalmente el End-Device. La diferencia fundamental es que en el caso de activación ABP, se agrega directamente un dispositivo a una red, esquivando el procedimiento de “JOIN-REQUEST – JOIN ACCEPT”, lo cual en un primer momento pareciera ser un eslabón débil a la hora comprometer la seguridad de la información. Pero las claves necesarias en el modo ABP son únicas y específicas para

cada End-device, por lo que en caso de que sean publicadas sin autorización, no compromete la seguridad de la comunicación de los demás End-Device en la red (**LoRaWAN® L2 1.0.4 Specification Cap 6.2**).

5.1.2. Gateway

Como se observa en la figura 10, el encargado de pasar los datos enviados mediante enlace radial, a un formato TCP/IP para ser recibido por el Network Server (NS) es el

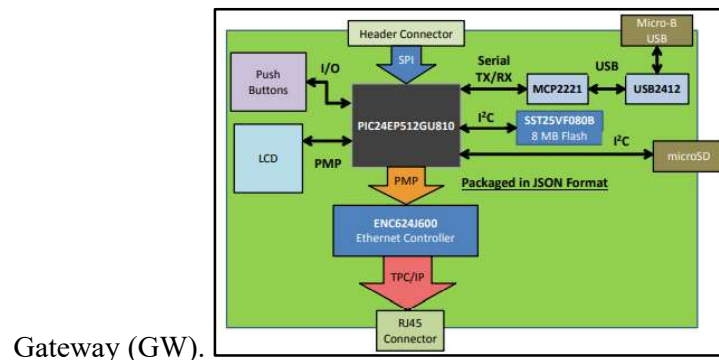


Figura 11 Esquema Placa Principal [Doc. DS40001827A-page 21 MICROCHIP®]

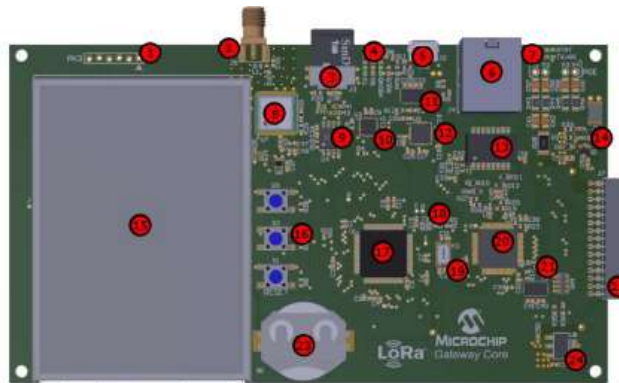


Figura 12 Placa Principal GW

El GW utilizado en este proyecto, consta de dos placas, una que contiene parte encargada del enlace radial (Placa de Radio) y la otra que se encarga de la comunicación TCP/IP, posee una pantalla LCD, y conector micro-USB para su alimentación y para conectarla con una eventual computadora para su configuración (Placa Principal).

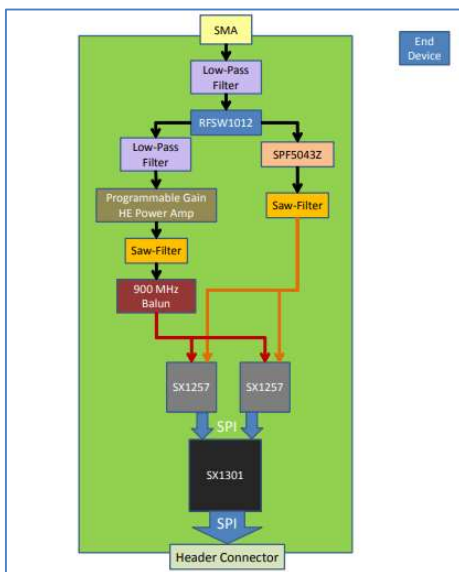


Figura 13 Esquema Placa de Radio [Doc. DS40001827A-page 19 MICROCHIP®]

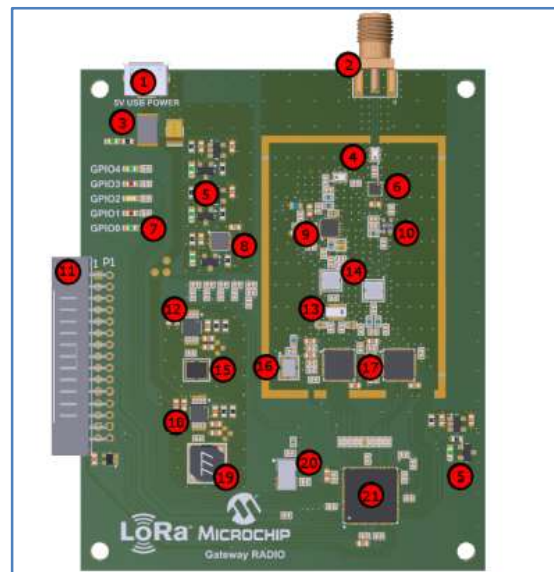


Figura 14 PLaca Radio GW

El GW funciona en modo Packets Forwarder, esto significa que toma los datos que le llegan en LoRa (La trama de datos será explicada más adelante en el punto 6.5.1.1), y los reenvía vía TCP/IP al servidor del NS. Este GW en particular además de la trama de datos (Payload), envía datos del enlace de radio, entre otros, que son por demás útiles. Estos son, RSSI (intensidad de señal de recepción del mensaje), y SNR (Relación Señal a Ruido), que, en este proyecto en particular, se utilizaron para verificar la factibilidad de ser utilizado este sistema en las instalaciones de INTA EEA Alto Valle (Esto será descripto más adelante en el punto 8).

Para que el GW pueda cumplir su función, debe configurarse ciertos parámetros que le permitirán interactuar con el NS [Doc. DS40001827A MICROCHIP®].

- **Gateway ID:** Identificador único de 8 Bytes que diferencia a cada Gateway en el Network Server.
- **Interface Mode:** Modo por el cuál obtendrá el IP de la placa que le permitirá interactuar con la Red LAN/WAN que usará para enviar y recibir datos al N. Este puede ser “dhcp” o “Statics”. En el primero el IP es asignado por el ruteador o puerta de enlace hacia Internet y es dinámico, en el segundo se le configura un IP manualmente.

- **Board IP Address:** Identificador único de Red TCP/IP del Gateway con formato A.B.C.D, donde A, B, C y D son valores entre 0 y 255. En una red LAN determinada cada dispositivo debe tener uno único.
- **Router IP Address:** Identificador único de Red TCP/IP del ruteador o puerta de enlace a internet con formato A.B.C.D, donde A, B, C y D son valores entre 0 y 255. En una red LAN determinada cada dispositivo debe tener uno único.
- **Subnet Mask:** 255.255.255.0 , mascara de subred, en todo el proyecto se mantendrá con este valor, y la explicación está fuera del alcance de este PIP
- **Server IP:** A.B.C.D, Es el IP del servidor donde está alojado el NS, donde A, B, C y D son valores entre 0 y 255. Más adelante se indicará como se obtuvo para este proyecto
- **Server Up Port:** 1700, Puerto de subida de datos. Este valor varía de acuerdo al proveedor de NS, pero por lo general son valores cercanos 1700. La explicación de este ítem está fuera del alcance de este PIP. En grandes rasgos este valor le indica al dispositivo que toda trama de datos que ingrese por ese puerto tiene que ser tratado y entendido de una manera determinada.
- **ServerDown Port:** 1700, Puerto de bajada de datos. Este valor varía de acuerdo al proveedor de NS, pero por lo general son valores cercanos 1700. La explicación de este ítem está fuera del alcance de este PIP.
- **Keep Alive Interval:** Intervalo de tiempo en Segundos, entre cada chequeo de conexión entre el GW y el NS, puede ir de 0 a 65535.
- **Update Interval:** Intervalo de tiempo en segundos en el cual se refrescan los datos en pantalla. No afecta al funcionamiento de la red. puede ir de 0 a 65535.
- **Sync Word:** Valor que conforma el encabezado de las tramas Lora en la capa física, el cual debe coincidir ente End-Device y el Gateway. Para redes públicas se usa el valor 0x34, y para privadas 0x12 [*LoRAWAN™ Specifications V1.0 2015*].

5.1.3. Network Server

El Network Server (NS) mostrado en la **Figura 10**, consta de tres partes, softwares o servicios, que pueden estar funcionado en el mismo servidor (Ya sea Local o remoto), o en servidores independientes (como se observará en el punto 6.3). También pueden ser todos, parte de un mismo Software.

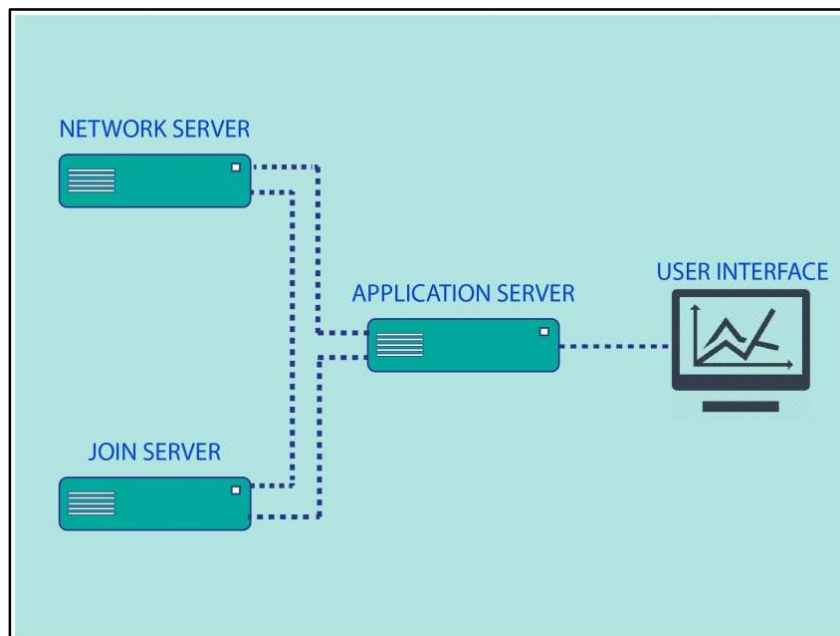


Figura 15 Esquema Network Server

Siempre que en este proyecto se nombra al Network Server, se hace referencia al conjunto de estos tres componentes. Ahora bien, suponiendo que por ejemplo el elemento Network Server de la **Figura 13**, no se encuentre en el mismo servidor físico, el parámetro “**Server IP**” indicado en el punto 5.1.2, debe ser el configurado en el Servicio Network Server mostrado en la **Figura 15**. Esto quedará más claro cuando se describa la configuración usada para este PIP en particular.

En rasgos Generales, la función de cada elemento se podría resumir de la siguiente manera [<https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/architecture/>].

- Network Server:
 - ✓ Establecer conexiones con seguridad 128-bit AES para el transporte de mensajes entre los End-Devices (E-D) y el Servidor de Aplicación (seguridad extremo a extremo)
 - ✓ Validar la autenticidad de los E-D y la integridad de los mensajes.
 - ✓ Desdoblar mensaje de subida (Uplink Messages)
 - ✓ Seleccionar el mejor Gateway para enviar mensajes de bajada (Download messages) hacia los E-D.
 - ✓ Enviar Comandos ADR (Adaptive Data Rate) Para modificar la velocidad de envío de datos.
 - ✓ Chequeo de dirección de dispositivo (DevAddress)
 - ✓ Proveyendo mensaje de reconocimiento, a mensajes de subida de tipo confirmado.

- ✓ Reenviando las tramas concernientes a la aplicación al servidor de aplicación adecuado.
- ✓ Reenviando mensajes de “JOIN-REQUEST”, “JOIN-ACCEPTED” entre E-D y Join Server correspondiente.
- ✓ Respondiendo a todos los comandos MAC.

- Application Server:
 - ✓ Procesa los mensajes de datos específicos de la aplicación, recibidos desde el E-D.
 - ✓ También genera los mensajes de bajada de datos (downlink messages) y los envía a los E-D a través del NS.

- Join Server:
 - ✓ Asiste a la seguridad en la activación de E-D.
 - ✓ Almacena y genera claves como “Clave de sesión” (session key)

El procedimiento de unión de E-D a una red LoRaWAN, inicia con un JOIN-REQUEST, a través del NS. El Join Server lo procesa y genera las claves de sesión, y transfiere NwkSKey y AppSKey (descriptas en punto 5.1.1) tanto al Network Server como al Application Server.

- User Interface: La interface de usuario es por el cual el usuario final adquiere la información obtenida por los E-D. Esta puede ser muy elaborada realizando informes usando técnica de machine-learning, inteligencia artificial, procesamiento estadísticos etc., o simplemente presentando los datos obtenidos a través de los E-D permitiendo que el usuario los procese según su conveniencia.

Los distintos servicios públicos de Network Server, ofrecen una batería de opciones pre-armadas, para mostrar datos obtenidos. En el servicio de Network Server utilizado en particular para este PIP, se utilizó la opción de envío de datos a través de método POST de protocolo HTTP. No se ahonda en dicho protocolo por estar fuera del alcance de este proyecto integrador profesional.

6. Desarrollo del Proyecto

Como se muestra en la **Figura 6**, el Kit Microchip®, propiedad de INTA EEA Alto Valle, viene preparado para probar la tecnología LoRaWAN en una red local y privada, funcionando en máquinas virtuales instaladas en una misma computadora. El objetivo principal de este PIP, es probar si esta tecnología es utilizable en zonas agrícolas,

solucionando el problema de conectividad que rige en esas regiones, a fin de proporcionar una solución que permita integrar IoT, a las actividades realizadas por INTA EEA Alto Valle en particular, y la industria frutícola del Alto Valle de Neuquén y Rio Negro en general. Debido a esto se buscó la forma de hacer funcionar los elementos de Kit en una red LoRaWAN real, para lo cual, se procedió a armar la arquitectura mostrada en la **Figura 10**.

Del kit se utilizaron los MOTE como End-Device, y el Gateway como tal, debiendo seleccionarse el Network Server y la interface de usuario. A continuación, se describirá la selección y la configuración de cada componente.

6.1. Selección y configuración Network Server (NS)

En la actualidad hay varias plataformas que ofrecen servicio de NS LoRaWAN, teniendo una opción gratis para pruebas y desarrollo, y la versión paga para uso completo del servicio. Para este PIP se probaron dos, seleccionando la que mejor performance mostró, en cuanto a disponibilidad y cantidad de mensajes por hora a procesar. Esta comparación no pretende ser determinística, ya que no se usó ningún método formal para la selección, solo se probaron ambas plataformas con el mismo Gateway y el mismo E-D, en el mismo día (En por lo menos tres días distintos y a horas del día distinto) y la opción seleccionada mostró mejor resultado. La plataforma descartada solo se nombrará sin profundizar en la configuración, debido a que ambas plataformas son similares en cuanto a su puesta en funcionamiento.

6.1.1. Plataforma TheThingsNetwork (TTN)

[www.thethingsnetwork.com]

Esta plataforma fue la que se descartó su uso. Se probaron dos versiones, "ThethingsNetwork" (TTN) y "ThethingsIndustries" (TTI). La interface es muy amigable y hay muchísima información disponible, ya que es una comunidad de desarrolladores muy grande a nivel mundial. Debido a su prestigio y calidad de la interface, no se descarta que la baja performance notada a la hora de desarrollar este PIP, haya sido debido a problemas técnicos puntuales de la plataforma. De hecho durante el transcurso de este proyecto integrador, la plataforma entera tuvo un cambio de versión de V.2.x a V.3.x, y lo que se estaba probando en Versión 2 en ese momento para el PIP tuvo que forzosamente ser cambiado según los nuevos requerimientos de la Versión 3.

Lo que es importante aclarar que esta plataforma ofrece todos los elementos descriptos en **5.1.3**, cuestión que fue útil en el uso del NS que finalmente se usó y quedara aclarado en el siguiente punto.

Las limitaciones de la versión “Free” son: Integrar un Gateway, generar una aplicación, y activar hasta 10 E-D. El precio de la versión paga es de aproximadamente u\$s 280 (Dólares americanos doscientos ochenta con 0/100) por mes, en la versión más básica. [https://accounts.thethingsindustries.com/fee-calculator].

6.1.2. Plataforma Lorient [www.lorient.io]

La versión paga de esta plataforma, arranca en unos u\$s 83,00 (Dólares americanos ochenta y tres) por mes con hasta 250 E-D.

La versión “Free”, tiene las siguientes limitaciones. Ilimitados números de Gateway, una Aplicación, y hasta 30 E-D (Ver **Figura 15**). Pero la limitación más grande que tiene, es que en la versión “Free” no ofrecer servicio de “Join Server”. La solución a esto se desarrollará más adelante.

6.1.2.1. Configuración de NS Lorient

Lo primero que se debe seleccionar, es el servidor remoto en donde se configurará la arquitectura a utilizar.

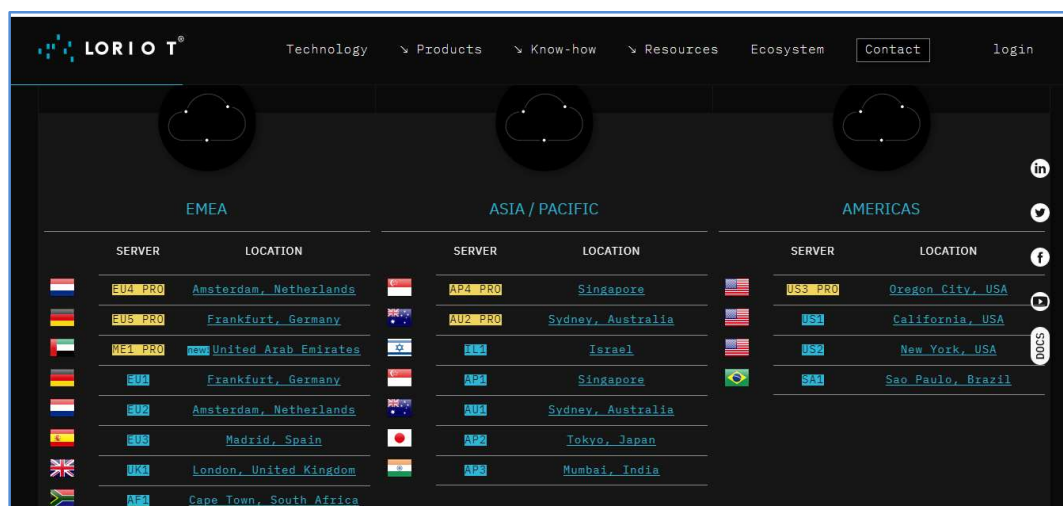
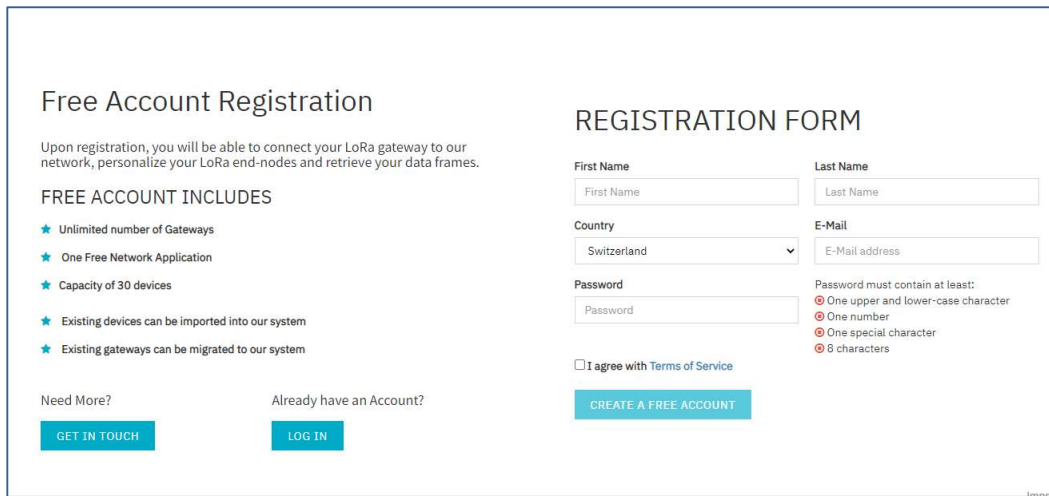


Figura 16 Servidores Disponibles Lorient

Arbitrariamente se seleccionó el Servidor US2, localizado en New York Estados Unidos (**Figura 16**). Este punto es importante ya que afectara a uno de los parámetros a ser configurados en el Gateway, tema que se abordara más adelante.

Una vez seleccionado dicho servidor, nos solicitará que nos registremos.



Free Account Registration

Upon registration, you will be able to connect your LoRa gateway to our network, personalize your LoRa end-nodes and retrieve your data frames.

FREE ACCOUNT INCLUDES

- ★ Unlimited number of Gateways
- ★ One Free Network Application
- ★ Capacity of 30 devices
- ★ Existing devices can be imported into our system
- ★ Existing gateways can be migrated to our system

Need More? [GET IN TOUCH](#) Already have an Account? [LOG IN](#)

REGISTRATION FORM

First Name Last Name

Country E-Mail

Password Password must contain at least:
• One upper and lower-case character
• One number
• One special character
• 8 characters

☐ I agree with Terms of Service

[CREATE A FREE ACCOUNT](#)

Figura 17 Formulario de Registro Loriot

Como se observa en la **Figura 17**, los datos requeridos son mínimos. Una vez que nos registramos e ingresamos con nuestro usuario, nos aparece un Tablero de Control (Dashboard)

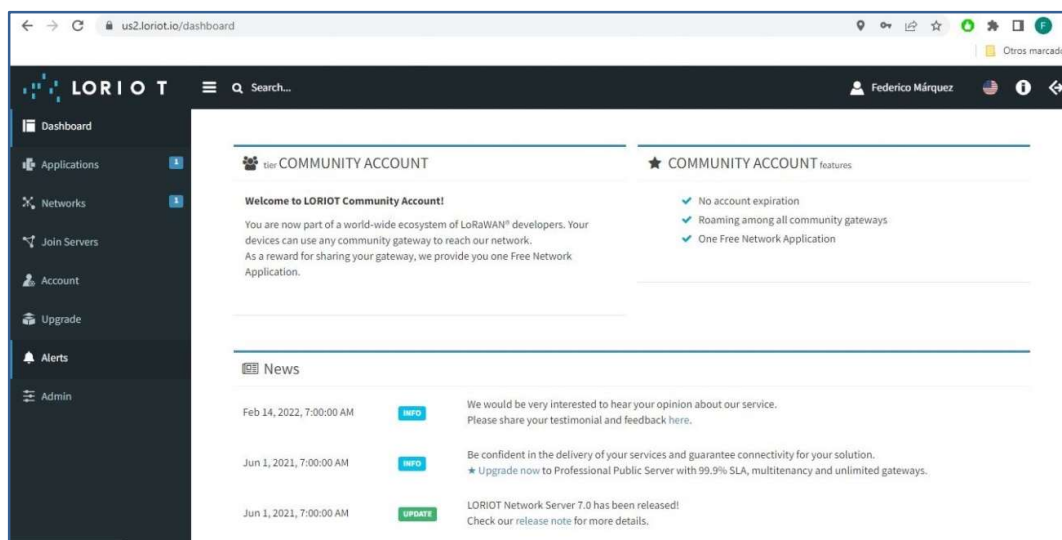


Figura 18 Dashboard Loriot

Lo primero que se realizó, es verificar si era posible dar de alta el Gateway del KIT mostrado en la **Figura 4**. Para ello se ingresó al link “Networks” que aparece en la barra Lateral Izquierda. Una vez hecho esto, el Dashboard cambia de nivel hacia Networks, y aparecerá en el mismo sector, la opción “New Network” (**Figura 19**). Cabe aclarar que lo que se está creando en este punto es una denominación que agrupará a los “N” Gateway, que conformen la Red LoRaWAN privada que se pretende armar. En nuestro caso solo se agregará un solo Gateway.

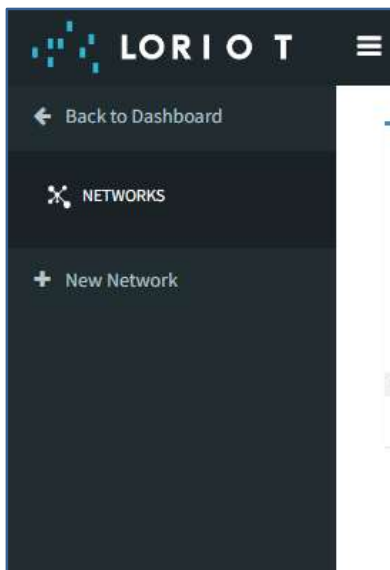


Figura 19 Dashboard/Networks

Como se ve en la **Figura 20**, solo es necesario dar un nombre de la Red, e indicar en el mapa donde se encontraría la red.

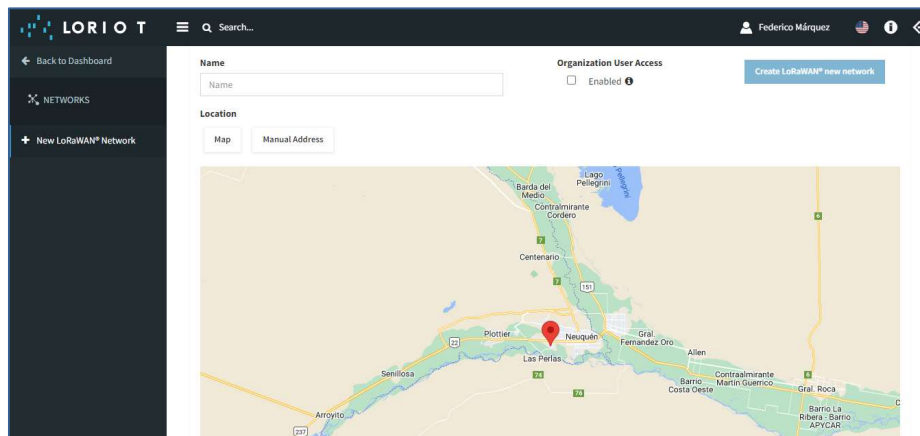


Figura 20

Una vez creada aparecerá en una lista junto a todas las redes creadas, en nuestro caso solo hay una. Al seleccionar la red desde la lista, se baja a otro nivel del Dashboard que nos permitirá dar de alta nuestro Gateway.

En la **Figura 21**, se observa un Gateway listado y el botón de “Add Gateway”, que nos permitirá agregar otro Gateway.

El Gateway listado muestra, el nombre, los Id con los que son reconocidos, el modelo y versión de Gateway, el status (Offline / Online), y la fecha y hora de la última conexión. (Detalle **Figura 22**)

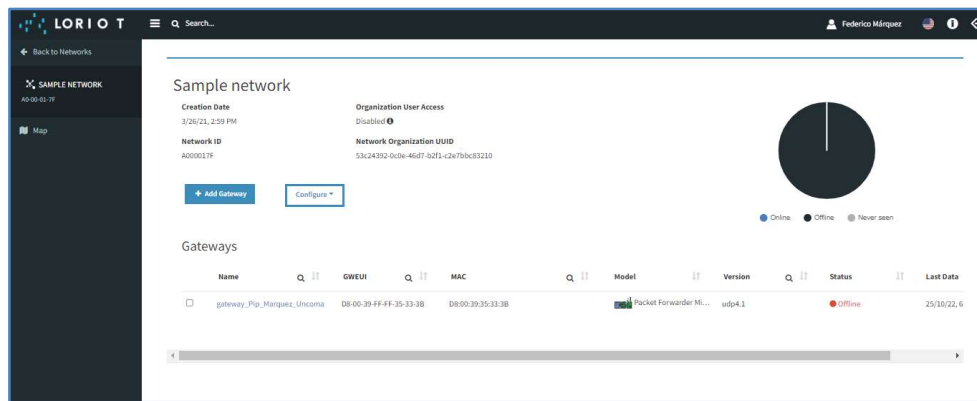


Figura 21 Lista de Gateways

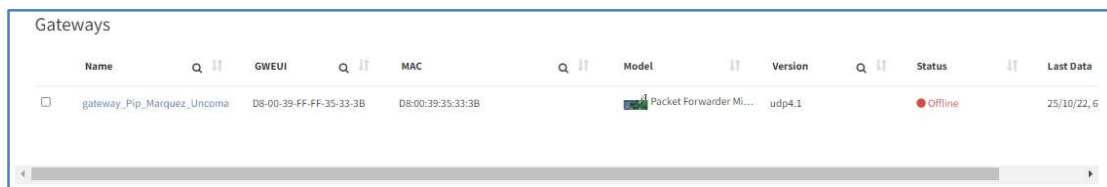


Figura 22 Detalle datos Gateway

Si se observa detenidamente la **Figura 23**, se notará que Gateway Id (GWEUI), y la MAC son similares en contenido. Esto es así porque Loriot, genera el GWEUI a partir de la MAC, para los modelos de Gateway de tipo Packets Forwarder. Recordemos que la MAC (Media Acces Control), es la dirección física de los dispositivos que cuentan con posibilidad de conectarse a una red LAN ya sea por cable o de forma inalámbrica.

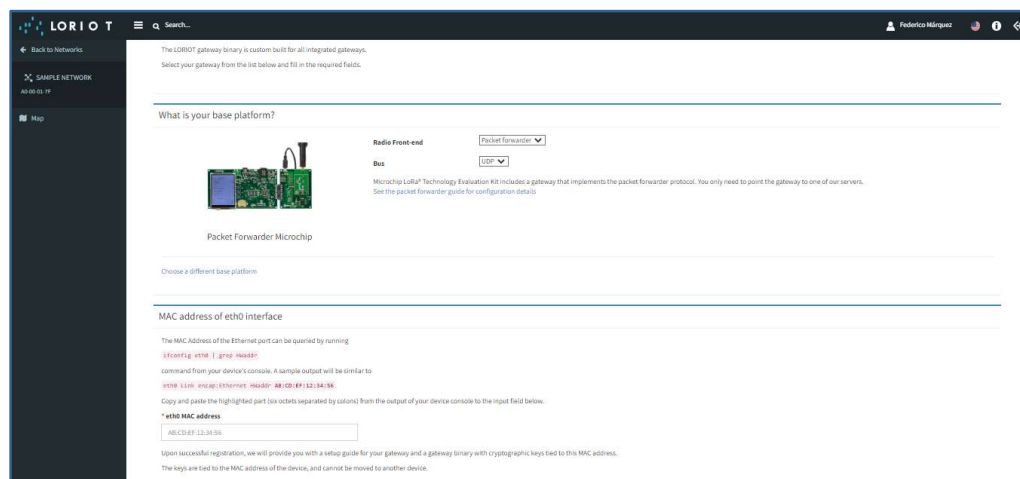


Figura 23 Agregar Gateway Loriot

Una vez que se presiona en “Add Gateway”, nos solicita elegir el tipo de gateway desde una lista. Seleccionamos en nuestro caso Packets Forwarder, y seguidamente se abre la pantalla mostrada en **Figura 23**, donde solo solicita la MAC, y que se indique la posición geográfica del Gateway. Cabe aclarar que la MAC, en el caso del Gateway utilizado, no es

una información disponible ni en el envoltorio ni impreso en el PCB del mismo. Por lo cual se debió obtener mediante comandos de consola.

```
C:\Users\CASA>ping 192.168.1.35

Haciendo ping a 192.168.1.35 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.1.35: bytes=32 tiempo=26ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.1.35: bytes=32 tiempo=16ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.1.35: bytes=32 tiempo=16ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.1.35: bytes=32 tiempo=12ms TTL=64

Estadísticas de ping para 192.168.1.35:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
              (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
        Mínimo = 12ms, Máximo = 26ms, Media = 17ms

C:\Users\CASA>arp -a | find "192.168.1.35"
192.168.1.35      d8-00-39-35-33-3b      dinámico

C:\Users\CASA>
```

Figura 24 Comandos en Consola

Como se observa en la **Figura 24**, se realizó un PING, para chequear que el Gateway este habilitado en la red. El IP utilizado para dicho PING, es posible visualizarlo en la pantalla LCD del Gateway, una vez que este configurado y conectado a la red como se verá en el punto 6.2.

MAC obtenida en el paso anterior fue d8-00-39-35-33-3b, que es lo que se ve en la **Figura 24**. El GWEUI, se genera intercalando “FFFF” entre el tercer y cuarto termino. [<https://docs.loriot.io/display/LNS/Package+Forwarder+Semtech>].

Al seleccionar el Gateway listado en **Figura 21**, se ingresa al nivel de parametrización del Gateway.

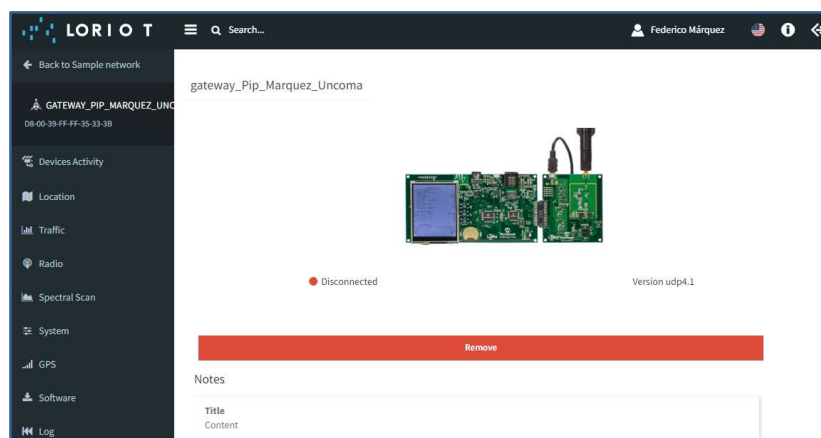


Figura 25 Parametrización GW

En la parte superior se muestra una imagen indicativa del GW utilizado, y la indicación de si está conectado o no. También nos brinda la posibilidad de removerlo del proyecto. (Figura 25)

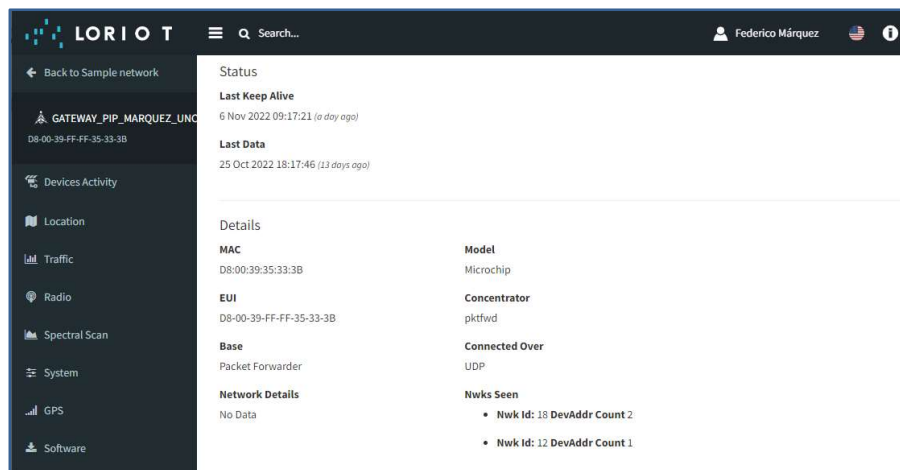


Figura 26 Detalle datos GW

Si nos desplazamos hacia abajo nos mostrará fecha y hora de la última conexión, y fecha y hora de la última vez que recibió datos de E-D. Por otro lado informa la MAC y la EUI, siendo estos los datos más importantes.



Figura 27 Configuración de Frecuencias

En la parte inferior, se encuentran los parámetros que se pueden modificar en los Gateway ya integrados a la red. Por ser una versión “Free”, no es posible deshabilitar el Acceso de la Comunidad, esto significa que personas que usen Lorient, pueden ver que hay un GW integrado a Lorient en determinada posición Geográfica. Al Habilitar la opción “Ignorar Datos”, el GW no transmitirá, los datos que intenten enviar los E-D.

De gran importancia es la selección de la “Región”, que determinará, el rango de frecuencias en los que se manejarán los saltos de transmisión entre E-D y el GW. Debido a que el Kit venía preparado en US-915, se selecciona ese rango de frecuencias que van de 902 MHz a 928 MHz. Como se verá más adelante en la configuración de los E-D, los canales Lora

que se utilizarán son del 0 a 7, y es lo que se configura. Da la posibilidad de atenuar la salida de transmisión, modificando la “Tx Gain”, o ganancia de transmisión, de manera de cumplimentar lo dispuesto por la normativa (*Tabla 2*). En este Proyecto se usó tal cual lo mostrado en la *Figura 27*.

6.2. Configuración del Gateway (GW)

Según lo indicado en el punto 3.2, se utilizó el software “*Lora Development Utility*”, para la configuración del GW, conectando mediante USB al puerto de la placa principal (*Figura 12 Ref.5*).

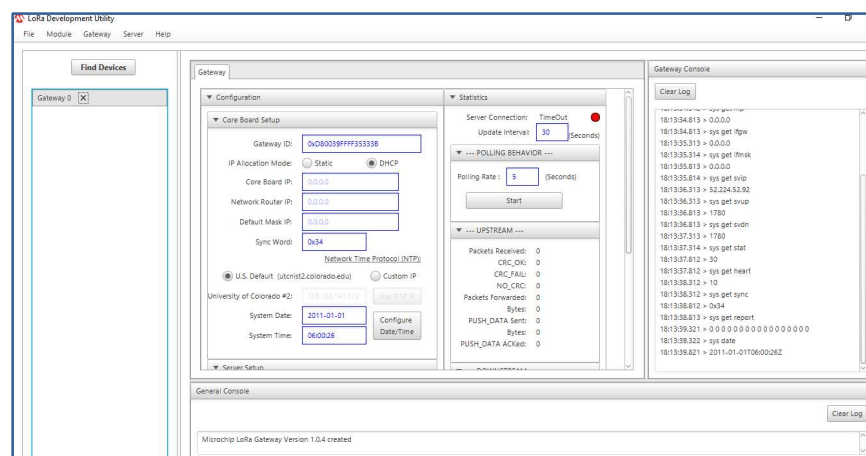


Figura 28 Panel de configuración Development Utility

Una vez que es detectado por el software el GW, al seleccionarlo en la lista de dispositivos que se genera en el costado izquierdo del panel, se despliega los distintos módulos de configuración y visualización como se ve en la *Figura 28*.

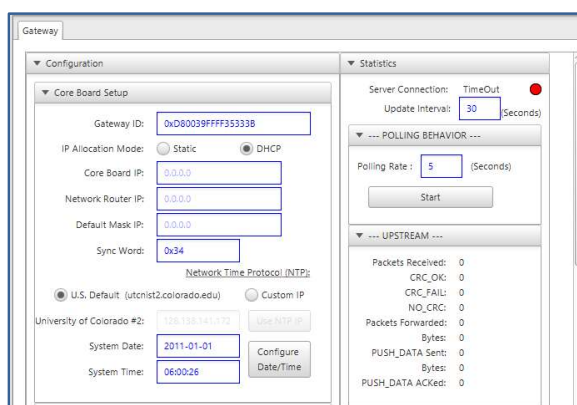
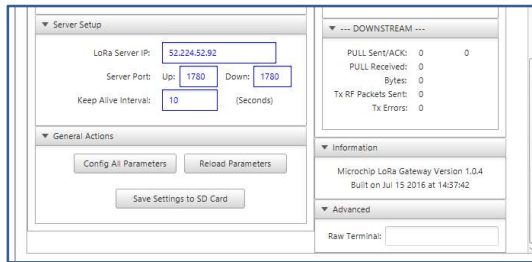


Figura 29 Módulo Configuración Parte 1



Los parámetros importantes a configurar para el correcto funcionamiento en este proyecto, se visualizan en las **Figuras 29 y 30**, más precisamente los submódulos “Core

Figura 30 Módulo Configuración Parte 2

Board Setup” y “Server Setup”. Dichos parámetros tienen su correlato con los descriptos en el punto 5.1.2.

Parámetros :

- **Gateway ID:** 0xD80039FFFF35333B (Por punto 6.1.2.1 y **Figura 22**)
- **Interface Mode:** DHCP (Por lo que la IP, Subnet Mask y Router IP los determina el Router de la Red LAN).
- **Board IP Address:** No configurable en Modo DHCP.
- **Router IP Address:** No configurable en Modo DHCP.
- **Subnet Mask:** No configurable en Modo DHCP.
- **Server IP:** 52.224.52.92 (Ver punto 6.2.1)
- **Server Up Port:** 1780 (Ver punto 6.2.2)
- **Server Down Port:** 1780 (Ver punto 6.2.2)
- **Keep Alive Interval:** 10 Seg.
- **Update Interval:** 30 Seg.
- **Sync Word:** 0x34

6.2.1. Server IP

Ya se explicó el origen del Gateway ID, y debido a que se propuso que funcione en modo DHCP, los parámetros dedicados a la conexión LAN del Gateway no son configurables. El otro parámetro de importancia para que el Gateway quede debidamente integrado y en funcionamiento es el IP del servidor donde estará alojado el Network Server del proyecto.

Como se indicó en el punto **6.1.2.1**, se seleccionó arbitrariamente el servidor US2. Si se observa la **Figura 18**, en la barra de direcciones, la misma inicia con el dominio “us2.loriot.io” como se muestra en la siguiente Imagen.

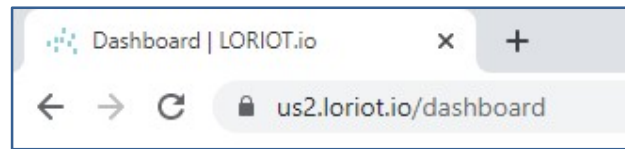


Figura 31 Dominio Servidor

Este Gateway en particular, no permite colocar dominios, por si el IP del servidor cambia. Por lo que hay que poner un IP en formato A.B.C.D, y chequear de vez en cuando si el IP del servidor cambió. Lo cierto es que, a lo largo de este proyecto, el IP de dicho servidor no cambió.

Para obtener el IP del servidor, se utilizó la herramienta online alojada en la siguiente dirección web: **<https://whatismyipaddress.com/hostname-ip>**

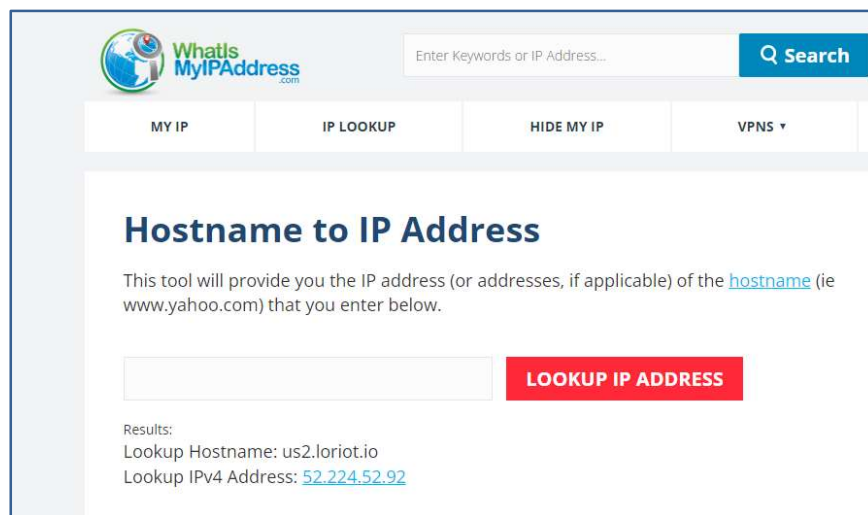


Figura 32 Herramienta Online para IP

En la **Figura 27**, se muestra la herramienta, solo basta colocar el dominio en el cuadro de búsqueda y presionar sobre “LOOKUP IP ADDRESS”. Como se observa en la parte inferior nos da el IP del servidor que fue el utilizado en la configuración del GW.

6.2.2. Server Up-Down Port

Para determinar estos parámetros, se debió recurrir a la documentación disponible en la plataforma [Loriot](#). Buscando en

<https://docs.loriot.io/display/LNS/Packet+Forwarder+Microchip> , nos indica que se deben seguir los pasos descriptos para Packet Forwarder Semtech. En dicho link [<https://docs.loriot.io/display/LNS/Packet+Forwarder+Semtech>] se observa que los puertos a utilizar tanto de subida como de bajada el **1780**.

6.2.3. Configuración Final GW

Una vez que se han colocado todos los parámetros necesarios, se presiona en “Config All Parameters”, y en “Save Setting in SD Card” (**Figura 30**), y toda la configuración quedará guardada en la tarjeta de memoria SD, colocada en el sócalo destinado a tal fin en la placa principal del GW.

En las figuras de **28** a **30**, se muestran los parámetros utilizados para este proyecto.

Si los puntos **6.1** y **6.2**, se realizaron correctamente, al conectar el GW a través de su puerto Ethernet al Router de internet, y el GW a través del puerto micro-USB, al software “Lora Development Utiliy”, se le asignarán los parámetros de Red LAN, y se pondrá en estado **ONLINE**, lo que puede ser comprobado en el software y en la plataforma Lorient como se observa en a siguientes imágenes.

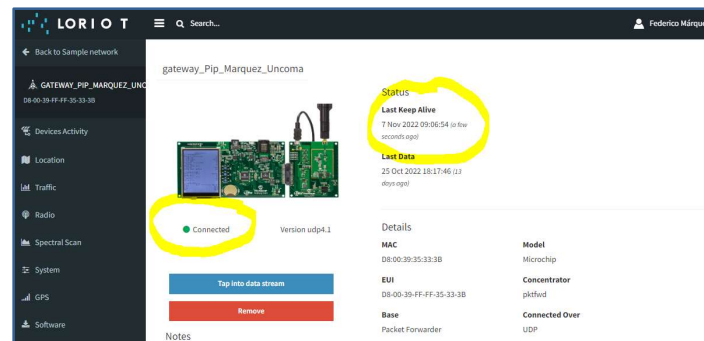


Figura 33 Visualización GW ONLINE en Lorient

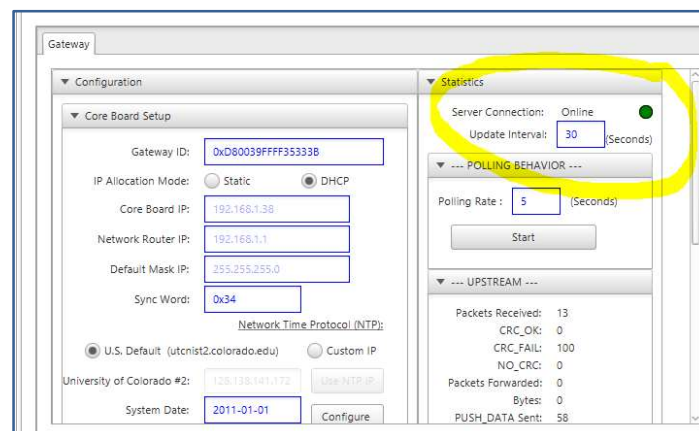


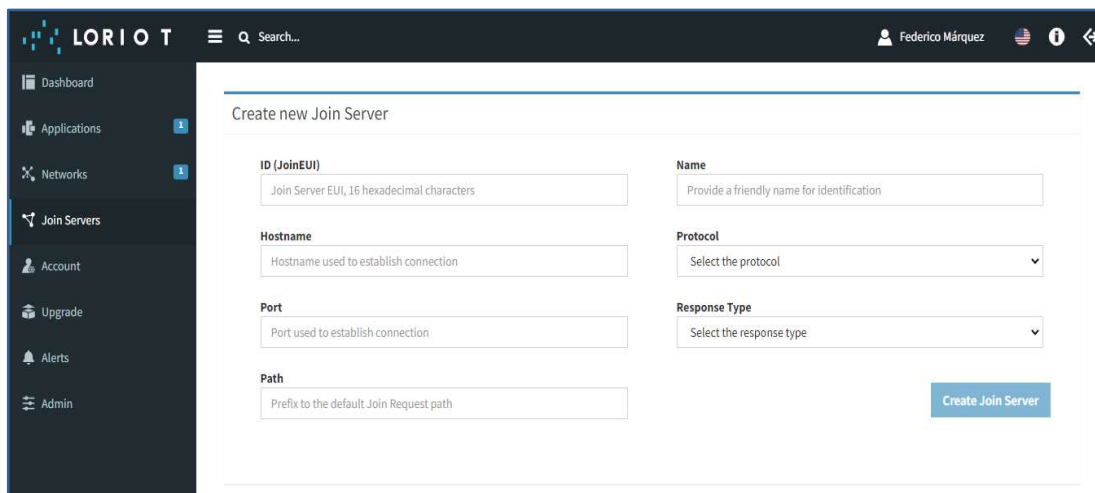
Figura 34 Visualización GW ONLINE en Software

6.3. JOIN Server

Tal cual lo indicado en el punto **5.1.3**, para que el sistema de Network Server funcione, debe contener y estar en funcionamiento 3 elementos: Servidor de Red (NS), Servidor de Aplicación, y Join Server.

Cuando se inició con el uso de la plataforma Lorient para este proyecto, ya se contaba con la experiencia del uso de TTN y TTI como fue descrito en punto **6.1.1**. Por lo que una vez creado el proyecto en la plataforma Lorient, y agregado el Gateway, se dio de alta el primer E-D (procedimiento que será descrito, en punto **6.4**). Tal cual se había hecho con TTN y TTI, se puso en funcionamiento el E-D, con activación OTAA y... **FRACASO ABSOLUTO**. No había manera de que el E-D sea aceptado en la red.

Viendo en detalle la **Figura 18**, se observará en el panel de exploración que aparecen en primer lugar los tres elementos en cuestión: Applications, donde irán agregados los E-D, y se configurará la conexión con la interface de usuario; Networks, donde se activarán los Gateways a ultizar; y JOIN Server. Al Ingresar a ese nivel, se descubrió que no había ningún Join server habilitado (ver **Figura 35**).



The screenshot shows the Lorient web interface. On the left is a dark sidebar with a menu containing: Dashboard, Applications, Networks, Join Servers (highlighted), Account, Upgrade, Alerts, and Admin. The main content area is titled 'Create new Join Server'. It contains several input fields and dropdown menus arranged in two columns. The first column has: 'ID (JoinEUI)' with a placeholder 'Join Server EUI, 16 hexadecimal characters'; 'Hostname' with a placeholder 'Hostname used to establish connection'; 'Port' with a placeholder 'Port used to establish connection'; and 'Path' with a placeholder 'Prefix to the default Join Request path'. The second column has: 'Name' with a placeholder 'Provide a friendly name for identification'; 'Protocol' with a dropdown menu showing 'Select the protocol'; and 'Response Type' with a dropdown menu showing 'Select the response type'. A blue button labeled 'Create Join Server' is located at the bottom right of the form.

Figura 35 Sección Join Server

Debido a esto se procedió a revisar si en TTI había una sección similar. Lo que se encontró es que en el proyecto de TTI, al generar la cuenta, ya genera el Join Server como se ve en a **Figura 36**.

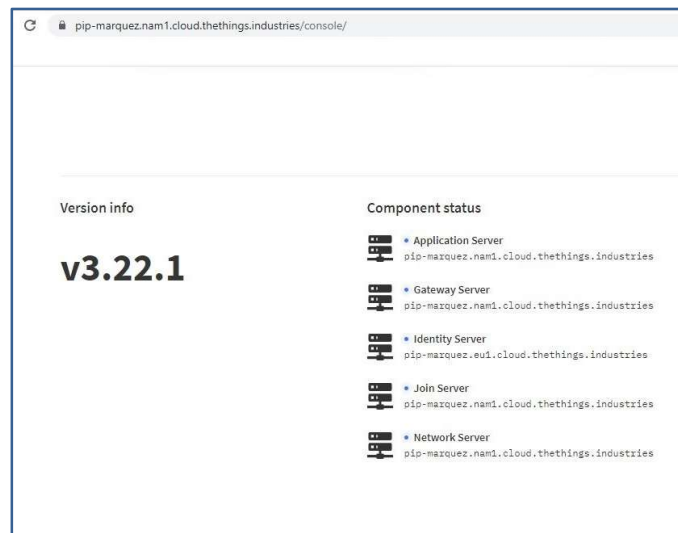


Figura 36 Detalle Cuenta TheThingsIndustries (TTI)

Observando la imagen anterior se determina que la dirección del Servidor remoto del servicio “JOIN”, es: pip-marquez.nam1.cloud.thethings.industries.

A modo experimental se decidió usar este dato para dar de alta el Join server de TTI en Lorient. Resultado: “ÉXITO”. Una vez dado de alta el Join Server, el E-D empezó a completar el procedimiento de Join-Request / Join-Accepted, y los datos comenzaron a llegar.

El Join server quedo parametrizado como se ve en la siguiente imagen, teniendo como Hostname la dirección indicada en párrafo anterior. El parámetro “ResponseType” se determinó de forma empírica.



Figura 37 Join Server Lorient

6.4. Application en Lorient

El elemento Application, nucleará los End Device que se agreguen a la Red. Por ser una versión “Free”, solo permite agregar un solo “Application”, el cual viene cargado por defecto al crear la cuenta [<https://docs.loriot.io/display/LNS/Add+an+Application>].

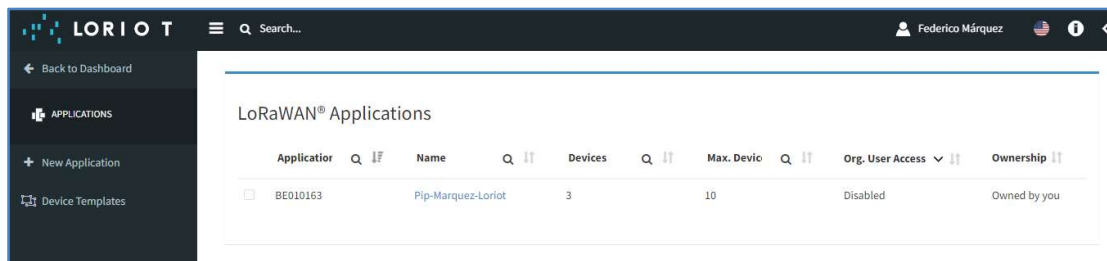


Figura 38 Application por defecto

Bastará con cambiar el nombre por algo más representativo al proyecto. Al seleccionar la Aplicación del listado pasamos al nivel de configuración de la misma.

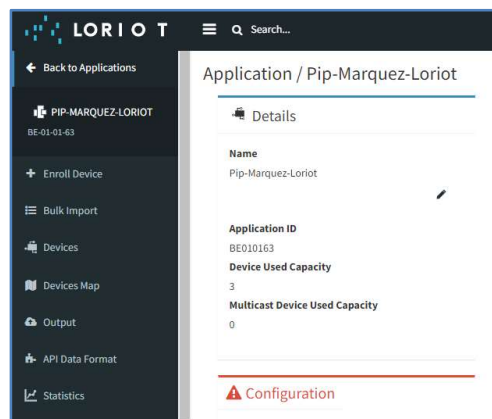


Figura 39 Configuración Application

En Este nivel nos permitirá agregar E-D (Se explicará más adelante), ver la trama de dato que llega de cada dispositivo dado de alta, una gráfica con estadísticas de las conexiones y seleccionar el tipo de “Interface de Usuario” (*Figura 15*).

6.4.1. Interface de Usuario

Para seleccionar el tipo y la forma en la que los datos llegaran a la interface de usuario, se debe configurar la salida de la Aplicación. Esto se realiza en la opción “**Output**”, visible en el nivel Application (*Figura39*).

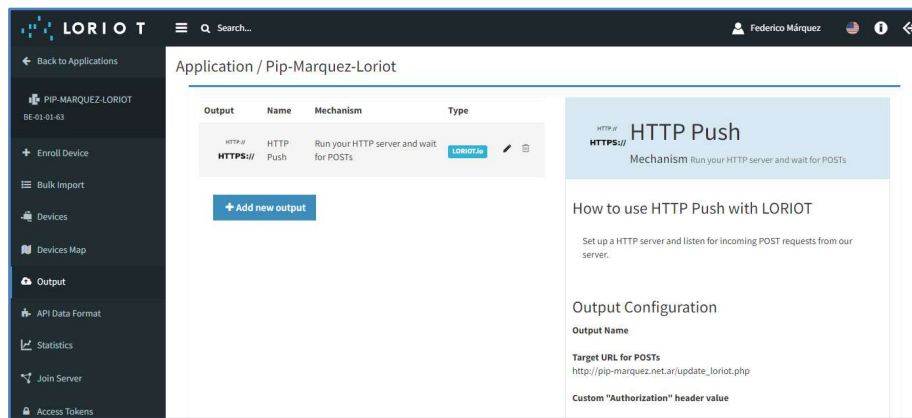


Figura 40 Configuración de Output

En el caso de este Pip en particular se usó la opción “**HTTP Push**”, que reenvía los datos que llegan de los E-D a través de método “**POST**” hacia una **url** de internet, que realizará el tratamiento de la trama cruda (Se explica más adelante). Como se muestra en la **Figura 41**, Lorient ofrece varias alternativas.

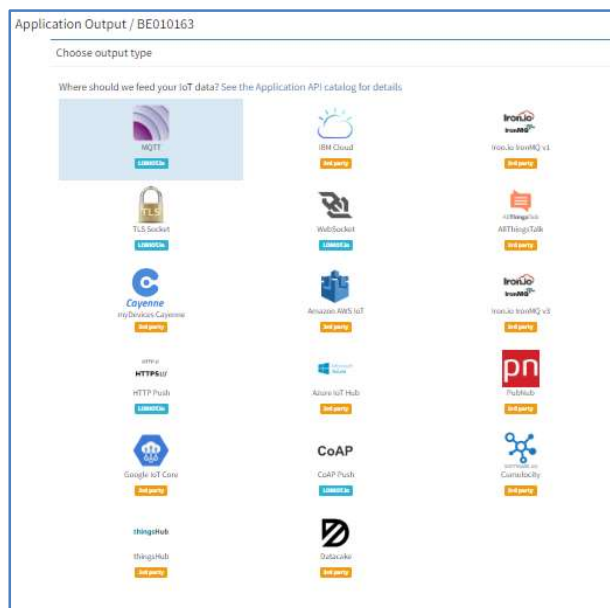


Figura 41 Opciones de Output Lorient

La selección de “**HTTP Push**”, se debió a la sencillez de su configuración en Lorient (Ver **Figura 42**), y que el problema se reduce al manejo de datos con Scripts en lenguaje PHP, manejos de datos de base de datos con PHP + MySQL, y la interface se puede realizar en una web estándar y altamente customizable.

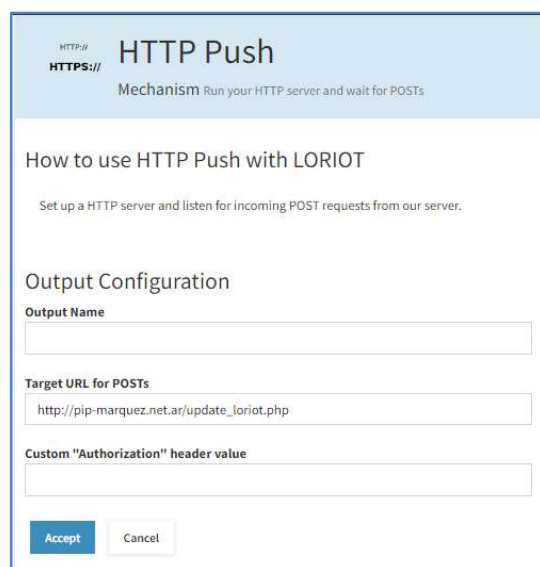


Figura 42 Configuración HTTP Push

Para configurar la opción seleccionada para este Pip, solo se debe seleccionar la **URL**, en la cual se enviarán los datos. En nuestro caso: “http://pip-marquez.net.ar/update_loriot.php”. También da la opción de colocar un nombre para diferenciarlo entre más opciones si es que se agregan más outputs al proyecto; y la posibilidad de colocar un encabezado de autorización (Authorization Header), que es una manera de agregar seguridad en páginas WEB. Por no ser parte del alcance de este Pip, se mantuvo la aplicación web lo más simple posible, por lo cual no se utiliza este parámetro.

6.4.2. Dando de Alta End-Device

Para que un dispositivo pueda utilizar determinado Network Server (NS), debe estar dado de alta en el mismo, más allá de luego realizar el procedimiento “Join-Request”. Esto en Lorient se realiza en la Opción “+ Enroll Device” (**Figura 39**).

Como se observa en la **Figura 43**, se deben proporcionar ciertos parámetros para registrar los dispositivos en la Application. Se describirá el caso de dispositivos con activación OTAA (Punto **5.1.1**).

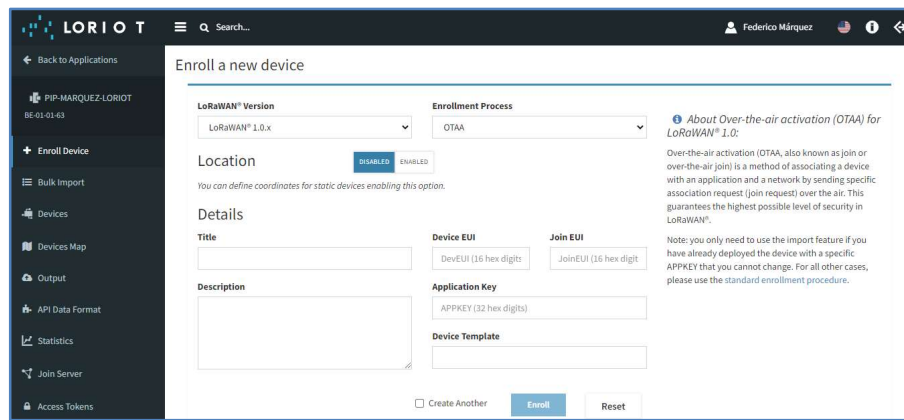
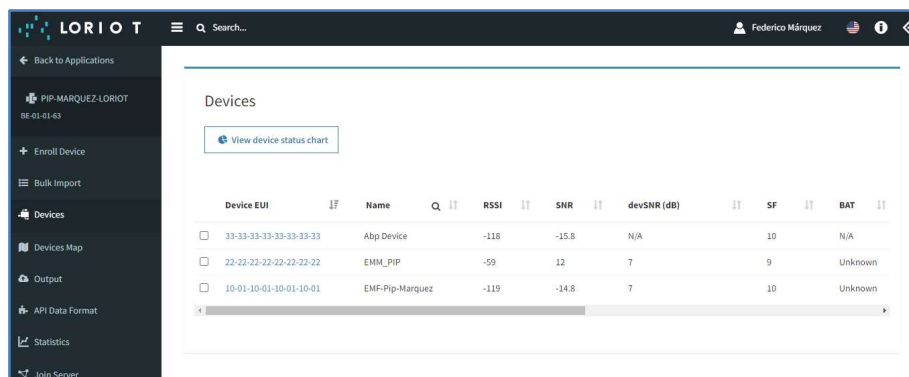


Figura 43 Enroll Device

- **LoRaWAN® Version:** Aquí se debe seleccionar la versión de LoRaWAN®, en la que trabaja el dispositivo. En el caso de este Pip, esto depende de la versión de firmware, del módulo RN2903 de cada E-D.
- **Enrollment Process:** Aquí se selecciona el tipo de activación que se usara para el proceso de “Join-Request”. Como se vio en el punto **5.1.1**, este puede ser OTTA o ABP.
- **Location:** En caso de activar esta opción, es posible de indicar en un mapa la posición geográfica del End Device.
- **Title:** Es el nombre del E-D.
- **Device EUI:** Valor de 16 dígitos Hexadecimales que identifica al E-D en la red (Punto **5.1.1**).
- **Join EUI:** Identificador del Join Server de 16 dígitos Hexadecimal (Punto **5.1.1**).
- **Application Key:** Clave de 32 dígitos Hexadecimales (Punto **5.1.1**).

Una vez completados los campos, se presiona en “**Enroll**” y se generara el dispositivo. Con el o los dispositivos creados será posible verlos listados, ingresando a la opción “**Devices**” en el nivel de la aplicación (**Figura 44**).



Device EUI	Name	RSSI	SNR	devSNR (dB)	SF	BAT
33-33-33-33-33-33-33-33	Abp Device	-118	-15.8	N/A	10	N/A
22-22-22-22-22-22-22-22	EMM_PIP	-99	12	7	9	Unknown
10-01-10-01-10-01-10-01	EMF-Pip-Marquez	-119	-14.8	7	10	Unknown

Figura 44 Listado de E-D

En el listado se observan distintos datos, entre ellos Dev EUI, nombre, Intensidad de señal de recepción (RRSI) de la última conexión, relación señal a ruido (SNR) de la última conexión, entre otras. Si nos desplazamos hacia la derecha, también se puede ver el tiempo transcurrido desde la última conexión.

Una vez que se agrega el dispositivo y se lo selecciona de la lista, se ingresa a un nuevo nivel del panel de control que nos permitirá configurar otros parámetros importantes de cada dispositivo.

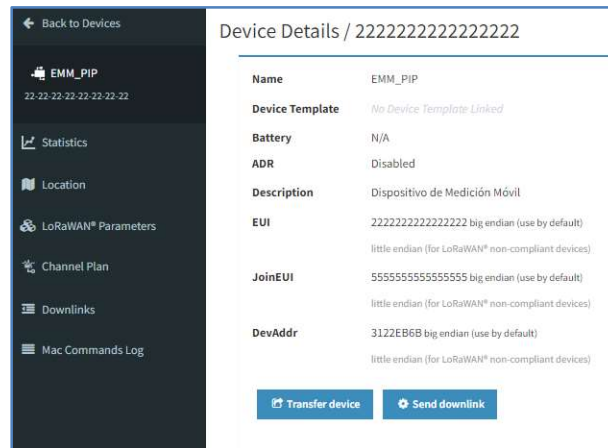


Figura 45 Configuración E-D

En este nivel además de mostrar los datos visibles en la lista (**Figura 44**), aparece una opción en el margen izquierdo: **LoRaWAN® Parameters**, que nos permitirá realizar una parametrización más profunda, respecto al protocolo ya mencionado.

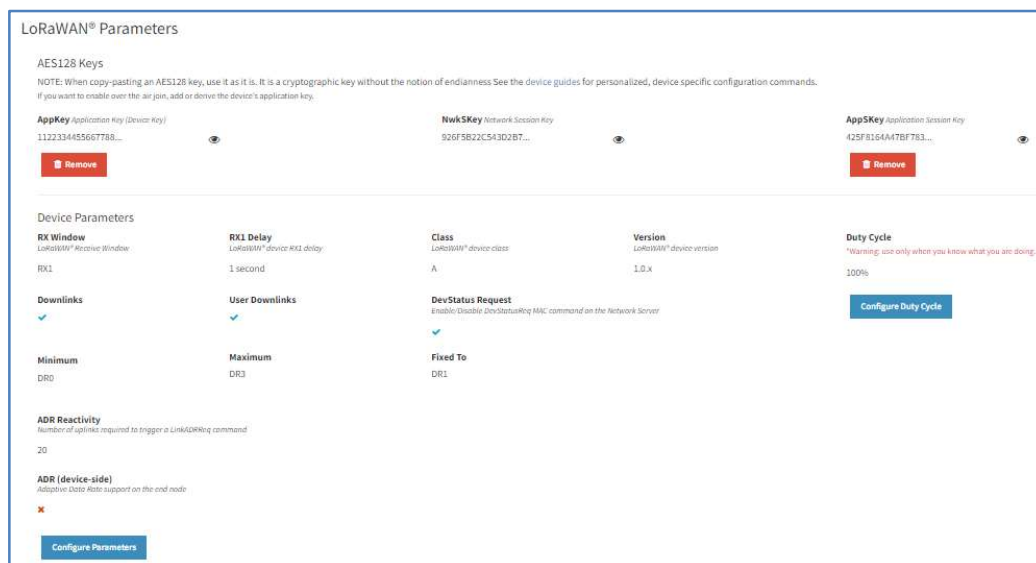


Figura 46 Parámetros LoRaWAN® E-D

Inicialmente en este nivel nos informa parámetros ya establecidos como AppKey por ejemplo, también parámetros propios del dispositivo, como RX1 Delay, la Version de LoRaWAN® que usará el E-D. En la parte inferior aparece la opción “**Configure Parameter**”. Al presionarlo nos permite modificar los parámetros del dispositivo.

A continuación, se detallará los parámetros usados en cada E-D:

					Data Rate				
	RX Window	RX1 Delay	Class	Version	Min.	Máx.	Fixed	ADR Reactivity	ADR (Lado Dispositivo)
EMM	RX1	1 Seg.	A	1.0.x	DR0	DR3	DR1	20	Off
EMF	RX1	1 Seg.	A	1.0.x	DR0	DR3	DR1	20	Off

Tabla 3 LoRaWAN Parameters

RX Window: Se selecciona en que ventana de recepción, el NS enviará mensajes de “Download”.

RX1 Delay: Se indica el tiempo de retraso en segundo hasta que inicia la primera ventana de recepción.

Class: Se indica la clase de End-Device según clasificación LoRaWAN® (Ver 4.1). Como dijimos, para este proyecto serán Clase A.

Version: Se selecciona la versión del protocolo LoRaWAN®, del firmware instalado en el E-D, en este caso en particular, más precisamente en el módulo RN2903.

Data Rate Min: Es el mínimo DR que se le permitirá cambiar en el End-Device.

Data Rate Máx: Es el máximo DR que se le permitirá cambiar en el End-Device.

Data Rate Fixed: Es el DR con el iniciaría a funcionar el E-D

ADR Reactivity: Cantidad de mensajes entre NS y E-D sin ACK correspondiente que generaría que se empiece a utilizar modo “**Adaptive Data Rate**”.

ADR (Lado Dispositivo): Indica si está habilitada la opción ADR en el E-D.

6.4.3. Configurando End Device

La configuración de los parámetros LoRaWAN®, de las placas MOTE del kit, se pueden realizar por comando series a través de su puerto micro-USB, utilizando cualquier monitor serie disponible, o utilizar el software “**Lora Development Utility**”, como se muestra a continuación.

Lo primero que se debe seleccionar son los parámetros necesarios para poder utilizar la red LoRaWAN®, correspondiente.

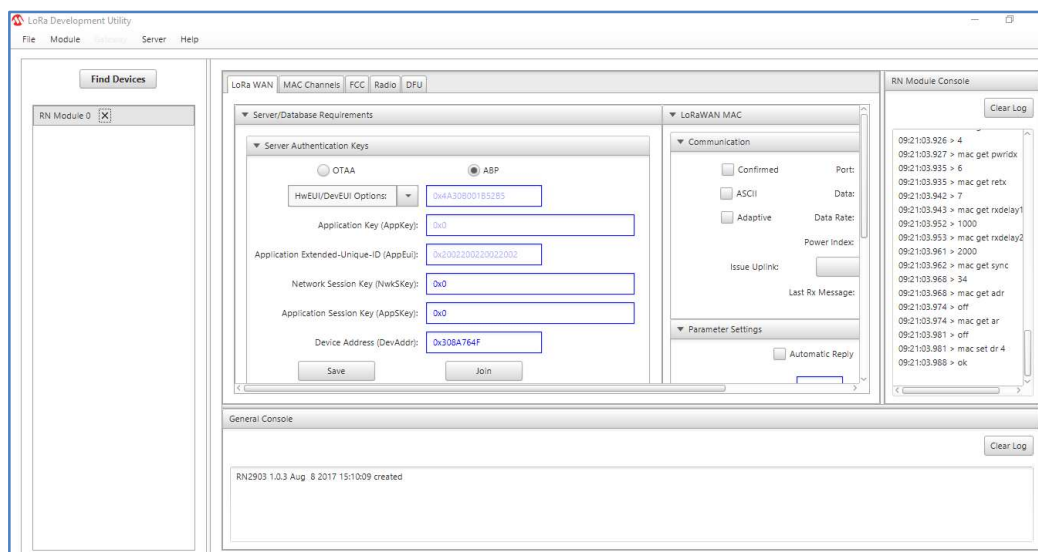


Figura 47 Configuración de END DEVICE

Los valores de los parámetros deben coincidir con los configurados en el NS (*Figuras 45 y 46*)

	MODO	DevEui	AppKey	AppEui
EMM	OTAA	0x2222222222222222	0x11223344556677889900112233445566	0x5555555555555555
EMF	OTAA	0x1001100110011001	0x12385467956847523159753684954231	0x2002200220022002

Tabla 4 Parámetros Lora E-D

Una vez cargados los valores se presiona en “*Save*”, y los valores son enviados al módulo RN2903 del MOTE, y guardados en su EEPROM. Ahora si es posible utilizar el MOTE con la red creada.

6.5. End Device (E-D)

Según lo indicado en punto 5, este proyecto integrador, cuenta con dos E-D. La Estación de Medición Fija (EMF), y la Estación de Medición Móvil (EMM), ambas desarrolladas mediante las placas MOTE incluidas en Kit.

La placa entre sus componentes principales contiene un microcontrolador PIC 18LF45K50 (**Figura 48 Ref. 16**), pantalla LCD (**Ref.10**), módulo RN2903 (**Ref.6**) encargado de la comunicación bajo protocolo LoRaWAN™; Conector SMA (**Ref. 1**) para antena, puertos E/S de RN2903 disponibles (**Ref. 4 y 5**), puerto ICSP (In Circuite Serial Programming) del PIC (**Ref. 7**) y contenedor de baterías “AAA” (**Ref. 25**).

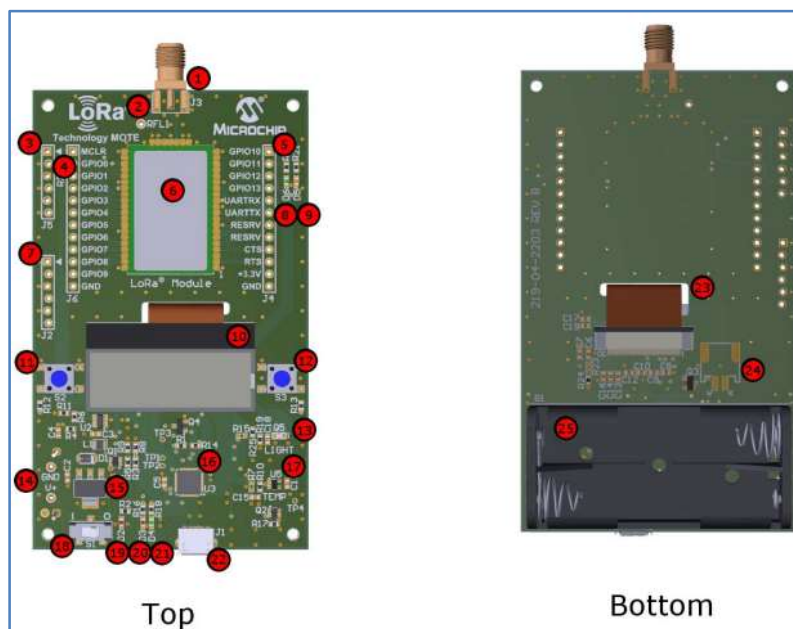


Figura 48 Placa MOTE Kit Lora Microchip®

6.5.1. Estación de Medición Móvil (EMM)

Como se indicó en el punto 5, el EMM, se encarga de recolectar datos de cosechadora móvil autopropulsada, mientras esta se encuentra en proceso de cosecha. Dicha máquina, se desplaza a una velocidad máxima de 2 Km/h. Cuenta con dos niveles de cosecha, permitiendo que a la vez se coseche la parte alta y baja de los frutales. Cuenta con dos balanzas, uno de la parte baja y la otra de la parte alta, y se le agrego una computadora de abordo, para adquirir los datos de las balanzas y la posición geográfica a través de un GPS.

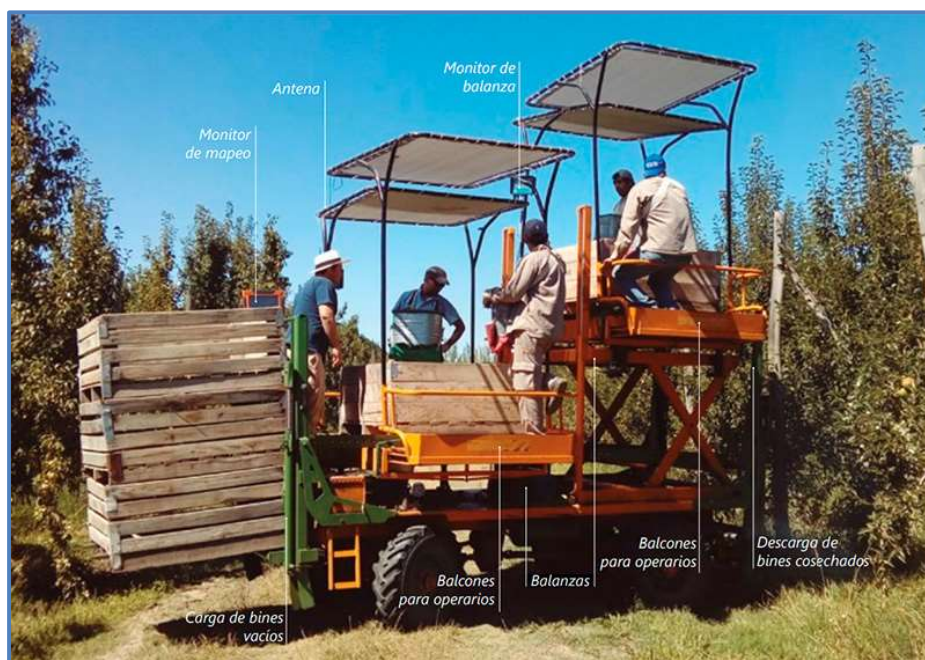


Figura 49 Plataforma Motorizada [Revista Internos]

En esta aplicación, el MOTE, funciona en modo “*CDC Command mode*” [Lora MOTE User’s Guide Cap 2.2]. En este modo, los comandos serie, que llegan a través del puerto micro-USB, son retransmitidos hacia el módulo RN2903, a través del puerto UART del microcontrolador y viceversa. De esta manera se puede usar el MOTE para proveer de conectividad LoRaWAN® a otro sistema, en este caso particular a la computadora de a bordo de la plataforma.

El alcance de este Pip, en este End-Device, se limitó a asistir al desarrollador de la Computadora de Abordo, Ing. Edgardo Benitez Piccini, a fin de lograr enviar los datos de interés mediante el protocolo de comunicación propuesto. Para ello, se siguieron los siguientes pasos:

- Se determinaron los datos que eran requerido registrar en base de datos y se estandarizó la trama a enviar y la manera de realizarlo mediante comando Lora.
- Se facilitó diagrama de Flujo para implementar en software de la computadora, en lo referido a procesos de Join-Request y manipulación de módulo RN2903.
- Se determinó la forma de visualización de los datos en la página web, y como adquirirlos para su manipulación y estudio.

6.5.1.1. Datos a ser Registrados

En sucesivas reuniones con el desarrollador, se determinaron los datos a ser registrados, ya que, la computadora de a bordo ya realizaba un registro periódicos de datos, pero se determinaron los realmente importantes a fin de achicar la trama a ser enviada a través de la red LoRaWAN®.

	Indicación	Peso Balanza 1		Peso Balanza 2		Latitud			
	Digito A-Z	Parte Entera	Parte Decimal	Parte Entera	Parte Decimal	Grados	Minutos Parte Entera	Minutos Part Dec.	N ó S
Cant Bytes	1	2	1	2	1	1	1	3	1

	Longitud				Total Bytes
	Grados	Minutos Parte Entera	Minutos Part Dec.	E ó W	
Cant Bytes	1	1	3	1	19

Tabla 5 Cantidad de Bytes Trama EMM

Como se vé en la **Tabla 5**, la trama a ser enviada está compuesta por:

- Un dígito alfabético indicativo de uso interno del usuario final. Con él puede indicar por ejemplo que el dato enviado es enviado automáticamente, o que fue a solicitud del operario de la plataforma, por ejemplo, o que es el dato de Tara de las balanzas, etc.
- El peso de la balanza 1 en Kg, con una precisión de 2 decimales.
- El peso de la balanza 2 en Kg, con una precisión de 2 decimales.
- Latitud donde se registraron los pesos en grados y minutos decimales, con una precisión de 5 decimales.
- Longitud donde se registraron los pesos en grados y minutos decimales con una precisión de 5 decimales.

La versión sin conectividad LoRaWAN® de la computadora de abordó, periódicamente recolecta estos datos y otros, que deja guardados en memoria SD como respaldo, una vez terminada la jornada se bajan los datos y se analizan. Por lo cual otro dato que registra es la fecha y hora, obtenida con el GPS, de cada muestra. Esto se dejó de lado en la trama ya que el protocolo Lora, envía una estampa de tiempo cada vez que se envía un dato, y por otro lado al cargarse en la base de datos allí también se puede determinar la fecha y hora del registro. En sucesivas pruebas se observó que, entre la fecha y hora indicada por GPS, a la estampa de tiempo final de la base de datos el corrimiento es del orden de milisegundo.

Una vez determinada la trama, se indicó que comando y como deben ser enviados los datos al módulo RN2903. El comando para transmitir un dato, tiene el siguiente formato:

mac tx <type> <port num> <datos> [Comando 1]

Donde:

Type: cnf/uncnf (con confirmación o sin confirmación).

Port num: Número de puerto (valor decimal de 1 a 223).

Datos: Trama que se desea enviar (ASCII de los bytes en hexadecimal)

Cuando se utiliza Type “cnf”, una vez que se envía la trama, se espera confirmación de recepción por parte del Network Server, con lo cual se tiene seguridad de que el dato fue enviado a la base de datos. En el modo “uncnf”, solo se tiene confirmación de que la trama fue enviada al Gateway.

El número de puerto, es lo que le da versatilidad al protocolo, ya que permite diferenciar distinto tipo de mensaje en la etapa “Output / Interface de Usuario”, entonces por ejemplo un mismo End- Device, puede enviar datos periódicos de ciertas variables utilizando el puerto número 1, y utilizar otro número de puerto para un mensaje disparado por un evento, por ejemplo, bajo nivel de combustible, que posiblemente tenga otro tamaño de trama y cantidad de datos. De esta manera en la etapa Interface de Usuario, se le puede dar tratamiento adecuado según el número de puerto utilizado. Esto quedará aclarado cuando se vea como llegan los datos a la página web.

Como se mencionó más arriba en el punto **6.5.1**, el MOTE funciona como repetidor serie entre lo que se conecte en el puerto micro-USB y el puerto UART del microcontrolador, que es el puerto con el que se comanda mediante comandos de “texto” al RN2903. Por lo cual un comando enviado al módulo Lora, no es más que una cadena de caracteres ASCII, con un final de línea dado por “\r\n”, o *Carrie Return + Line Feed*.

Supongamos que los datos que se quieren enviar son los siguientes:

	Peso Balanza 1		Peso Balanza 2		Latitud				Longitud			
Digito A-Z	Parte Entera	Parte Decimal	Parte Entera	Parte Decimal	Grados	Min. Parte Entera	Min. Part Dec.	N ó S	Grados	Min. Parte Entera	Min. Part Dec.	N ó S
I	250	23	0	0	38	59	15789	S	67	28	65487	W

Tabla 6 Datos a Enviar

Esto significaría, por ejemplo, que la balanza 1 tiene un peso de 250,23 Kg (doscientos cincuenta Kg con doscientos treinta gramos). O que la latitud es de 38°59,15789’ Sur. Ahora bien, la trama enviada en el campo <data>, debería conformarse de la siguiente manera:

	Peso Balanza 1		Peso Balanza 2		Latitud				Longitud			
Digito A-Z	Parte Entera	Parte Decimal	Parte Entera	Parte Decimal	Grados	Min. Parte Entera	Min. Part Dec.	N ó S	Grados	Min. Parte Entera	Min. Part Dec.	N ó S
I	250	234	0	0	38	59	15789	S	67	28	65487	W

49	00FA	17	0000	00	26	3B	003DAD	53	43	1C	00FFCF	57
----	------	----	------	----	----	----	--------	----	----	----	--------	----

Tabla 7 Campo <data>

En la **Tabla 7**, el 49 de la primera columna, por ejemplo, corresponde al valor hexadecimal del carácter en código ASCII “I”. Como se ve en la segunda columna (Parte entera de Peso Balanza 1), se completa con ceros, para mantener la cantidad de bytes según **Tabla 5**. Y así con cada parte de la trama. Recordar que un valor de un byte le corresponde dos dígitos hexadecimales.

Por lo arriba expuesto el comando serie a enviar al módulo RN2903, para enviar los datos de la **Tabla 6** sería:

mac tx cnf 13 4900FA17000000263B003DAD53431C00FFCF57\r\n

Comando 2 Trama Ejemplo.

En el comando utilizado en este proyecto para enviar datos de la plataforma, se observa que se usó el tipo “***cnf***”, debido a que permite saber si el dato fue debidamente enviado al Network Server. Como número de puerto se usó arbitrariamente el “***13***”, para los datos que vienen del EMM.

6.5.1.2. Breve descripción de software en Computadora de abordó

Como se indicará más arriba, el End-Device de EMM, funciona como repetidor serie entre el puerto micro-USB y el puerto UART del microcontrolador del MOTE hacia el módulo LoRa RN2903 y viceversa. Por ello se asistió técnicamente al desarrollador de la computadora para lograr que los datos de importancia lleguen a la página web. En el punto anterior se describió como que comando usar y como armar la trama o “Payload”, a enviar al NS. También se indicó los pasos a seguir para poder hacer uso de la red LoRaWAN®.

El software de la computadora fue desarrollado en lenguaje Python. Queda fuera del alcance de este PIP, por lo cual solo se describe la funcionalidad dedicada al envío de datos mediante la red LoRa. Con este propósito el desarrollador creo la Clase ***conexion_lora()***, la cual es mostrada en el **Anexo 1**.

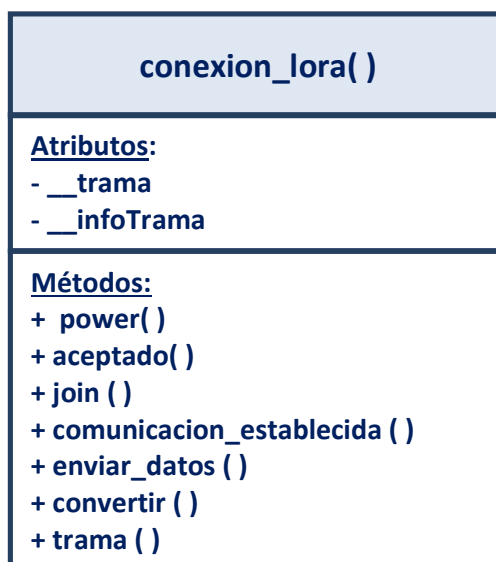


Figura 50 Clase conexion_lora()

Como se observa en la **Figura 50**, dicha clase, cuenta con un par de atributos de uso interno y varios métodos que permiten realizar el envío de comandos específicos al RN2903.

El método “power()” (Líneas 21 a 39 de **Anexo I**), se encarga de ajustar la potencia de transmisión del E-D al máximo (20dBm), en la transmisión inicial, a fin de asegurar que sea recibido por el Gateway. Eso lo hace a través del comando “*mac set pwr 20\r\n*”.

El método “aceptado()” (Líneas 42 a 62 de **Anexo I**), en conjunto con el método “join()” (Líneas 64 a 71 de **Anexo I**), se encargan de realizar el procesos “Join –Request”, con varias iteraciones para asegurar que si las condiciones son las adecuadas (distancia al Gateway por ejemplo) logre unirse a la red.

El método “comunicación_establecida()” (Líneas 73 a 92 de **Anexo I**), verifica a través de los bytes de status, si el E-D se encuentra unido a una red, si no hace uso de “aceptado()” y “join()”, para unirlo. En la **Figura 51** se observa los bits de los bytes status y que indican cada uno. A ellos se accede mediante el comando “*mac get status\r\n*”.

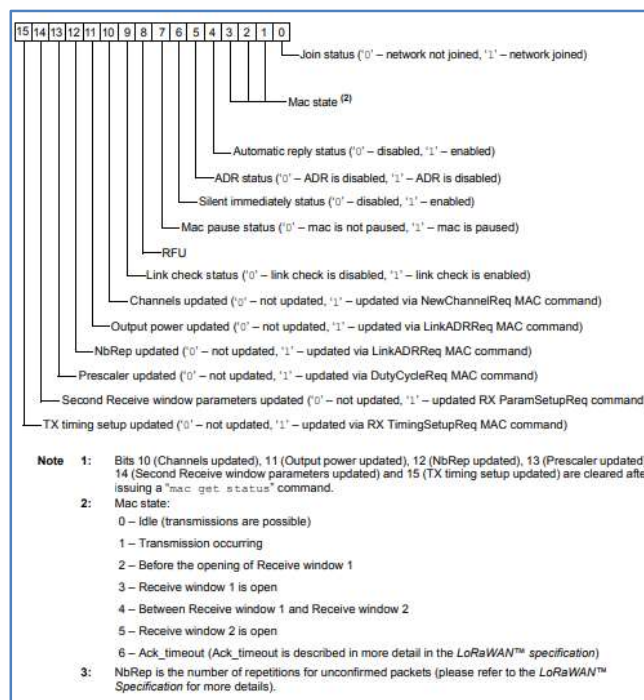


Figura 51 bits Status

El método “convertir()” (Líneas 128 a 132 de *Anexo I*), es el encargado de pasar los valores de la “**Tabla 6**”, a su contraparte hexadecimal con la cantidad de dígito indicados en la tabla, completando con ceros, y pasándolo a formato “cadena de caracteres”.

El método “trama()” (Líneas 134 a 173 de *Anexo XX*), arma la trama final a ser enviada (*Tabla 7*) mediante *Comando 1*.

El método “enviar_datos()” (Líneas 94 a 125 de *Anexo I*), envía los datos ya tratados con “convertir()” y “trama()”. Asegurándose que el Data Rate sea 1. Este valor es el mínimo que permite enviar la trama con el largo predefinido. Si se intenta utilizar DR=0, salta un error de largo de trama (invalid_data_length). Esto es así, porque a menor DR, más tiempo tarda en enviar cada byte, y si la trama es muy larga, se viola las regulaciones de tiempo de aire regionales, y los dispositivos certificados bajo el estándar LoRaWAN®, están regidos por estas limitaciones desde el firmware. Por otro lado, un valor alto de DR, si bien harían más veloz el envío de bytes, exigen una relación señal a ruido mayor, para que el mensaje sea recibido sin errores por el Gateway, por lo que es necesario utilizar e DR menor que sea posible. En este caso DR=1 es óptimo.

En la *Figura 52* se muestra el diagrama de flujo que realiza dentro del soft principal, para el envío de datos.

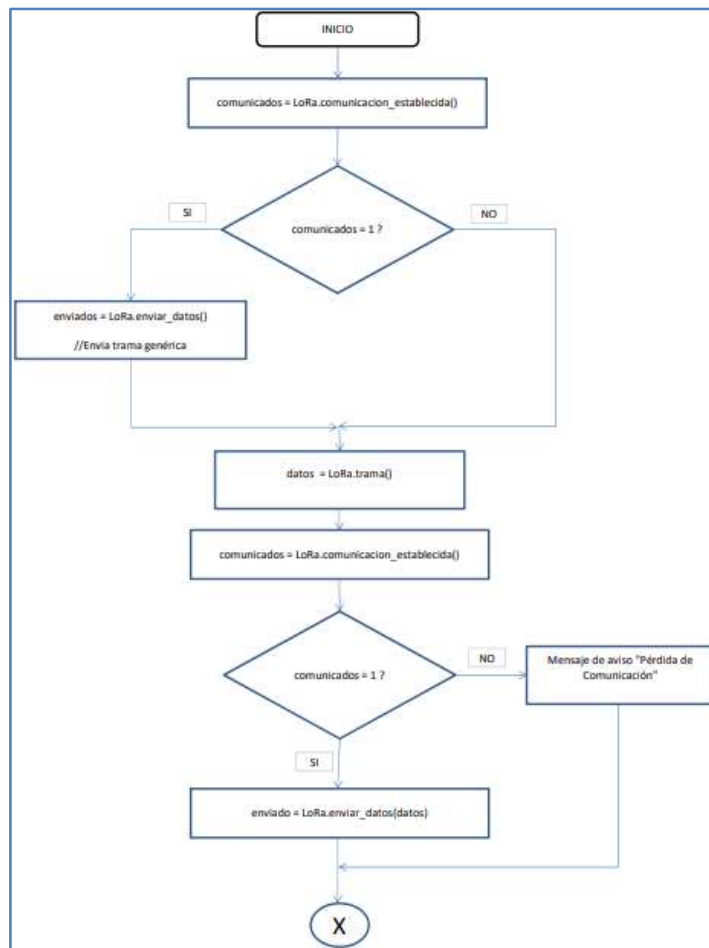


Figura 52 Diagrama de Flujo EMM

6.5.2. Estación de Medición Fija (EMF)

El Mote original, cuenta con una programación, que le permite realizar el envío de los valores obtenidos con un sensor de temperatura, y uno de luz ambiente (**Figura 48, Ref. 17 y 13** respectivamente). Esto lo realiza periódicamente, y es posible también forzar el envío, todo con un Menú de navegación a través del display y dos botones dispuestos a tal fin. Esto fue útil, para entender y probar el funcionamiento de la red Lora en un primer momento, así como verificar el funcionamiento del software original. Este soft, fue descargado de la página oficial de Microchip©.

Una vez que se entendió el funcionamiento del software, se procedió a realizar las modificaciones necesarias, para que sea funcional a los requerimientos de este PIP.

El sensor de humedad de suelo indicado en el punto 5, se conectó mediante una entrada analógica del módulo RN2903, como se observa en la **Fig. 53**. Para la obtención del dato de

humedad se agregó la función “*ADC_HumSueConversion(uint16_t humsueRaw)*” en el archivo “*adc.c*” (*Anexo 2*)



Figura 53 Detalle EMF

Para el dato de Temperatura Ambiente y Humedad relativa, se agregó el archivo “*DHT22.c*” *Anexo 2*, que funciona como driver para la comunicación con el sensor DHT22. Este sensor funciona con una comunicación digital de un conductor. Por lo cual el puerto a utilizar debe poder cambiar de entrada salida y viceversa, rápidamente. Por ello se utilizó un puerto del microcontrolador PIC. Como en el PCB, no todos los puertos están accesibles se utilizó uno del puerto “*ICSP*” (In Circuit Serial Programming). En el “*Anexo 3*” (Hoja de datos del dispositivo DHT22), se observa cómo se genera la comunicación. Por otro lado, se observa cómo nos llega el dato:

Dato: 16 bits (HumRel) + 16 bit (Temp.) + 8 bits (checksum)

Ejemplo:

16 bits Humedad Relativa	16 bits Temperatura Ambiente °C	8 bits Checksum
0 0 0 0 0 0 1 0 1 0 0 0 1 1 0 0	0 0 0 0 0 0 0 1 0 1 0 1 1 1 1 1	1 1 1 0 1 1 1 0
652 => 65,2 %	351 => 35,1 °C	

Tabla 8 Dato sensor DHT22

El Checksum, surge por la suma aritmética de los bytes de los datos. En este caso en particular:

$$00000010 + 10001100 + 00000001 + 01011111 = 11101110$$

Este dato se utiliza, para verificar que no haya error en los bits recibidos.

Este sensor actualiza el valor cada 2 segundos. Tiene un rango de medición de:

Temperatura: -40 → 80 °C / HumRel= 0 → 100 %

Esto hace que sea apto para los requerimientos de medición en zona rural y de este proyecto en particular. Los valores de temperatura “bajo cero”, se indican con el primer bit de ese dato en “1”.

Los datos son enviados a través de comando similar al indicado en “**Comando 2**” en 6.5.1.1. para preparar la trama se agregó las funciones “*moteApp_BufferDataPip(void)*”, “*moteApp_TempHumToString(tm , temperatura)*”, en el archivo “*MOTEApp.c*” (Anexo 2), que utilizan la función “*DHT22_GetTempHum(uint8_t * vDest)*”, del archivo “*DHT22.c*”. Para tratar los datos para visualizar en el display, se agregó la función “*moteApp_gthStr(void)*”, en el archivo “*MOTEApp.c*” (Anexo 2).

Para asegurar una potencia de transmisión alta al intentar unir a la red el E-D, tal cual lo comentado en el caso del EMM en el punto 6.5.1.2, se agregó la función siguiente a tal fin, “*moteApp_setPwrSfMote(void)*”, en el archivo “*MOTEApp.c*” (Anexo 2).

En el caso del ejemplo mostrado en la **Tabla 8**, el comando enviado al módulo RN2903, es de la forma:

mac tx uncnf 52 015F028C37

Comando 3 Comando EMF

Generado con la función “*sendDataCommand("mac tx uncnf ", dataBuffer, 12)*”, que era nativa del software original .

En **Comando 3**, se observa que se usa el modo sin confirmación (uncnf), con el puerto “52”. El valor 015F corresponde al hexadecimal del valor 351, que es el valor de temperatura del ejemplo de **Tabla 8**. El valor 028C corresponde al hexadecimal del valor 652 de la misma tabla. El último valor, 37, corresponde al hexadecimal del valor de humedad de suelo.

El sensor DHT22, tiene la posibilidad de avisar si no es correcta la lectura de sus valores. Esto puede suceder por:

- Error de Cheksum: El dato recibido de Checksum no es igual al calculado con los bytes recibidos.
- No Response : Se agota el tiempo de espera para la recepción delos datos desde el sensor.

En ambos casos se envían datos fuera de rango de manera que quede indicado que es por alguno de los dos errores. En la función “*moteApp_BufferDataPip(void)*”, en caso de que aparezca algún dato erróneo, se repite el proceso de pedido de datos al sensor 3 veces antes de enviarlo a la plataforma web.

6.6. Interface Usuario

Como se mencionó más arriba, el último punto donde llegan los datos recolectados, es la base de datos de la plataforma web, donde el usuario final podrá visualizar los datos, y obtenerlos para hacer un estudio detallado de los mismos.

A tal fin, se desarrolló una página web alojada en un servidor público, bajo el dominio www.pip-marquez.net.ar, se realizaron todos los trámites pertinentes en el ente correspondiente (<https://nic.ar/>), de manera de contar con el dominio seleccionado. No se describe el proceso por no estar en el alcance del proyecto. Dicha página se desarrolló con lenguajes propias de desarrollo de páginas web y bases de datos, a saber:

- HTML, CSS, Bootstrap.
- PHP.
- JAVASCRIPT.
- MYSQL (Base de Datos).

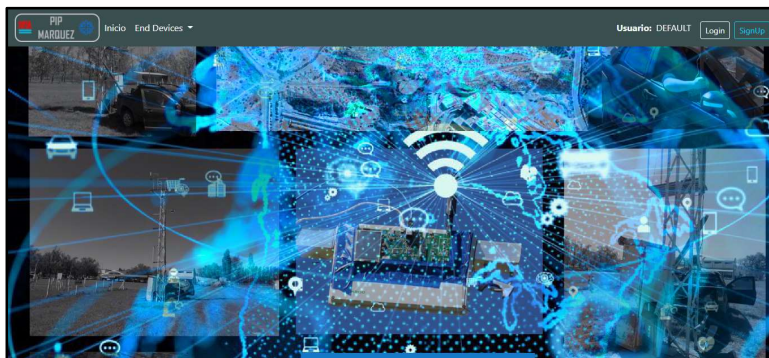


Figura 54 Página Inicio de la plataforma web

En la **Figura 54**, se muestra la página inicio de la plataforma WEB. Cuenta con la posibilidad de registrar usuario e iniciar sesión. Si no hay un usuario activo, no permite visualizar los datos en la opción **“End Devices”**. Para ello solo debe registrarse a través del botón “SignUp”.

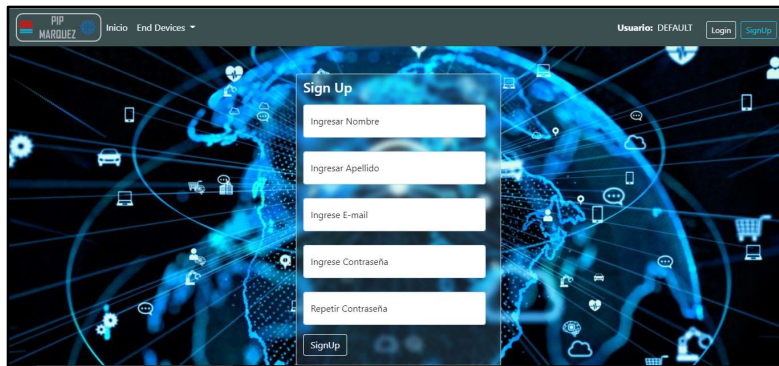


Figura 55 Formulario de Registro de Usuario

Se debe completar el formulario con los datos solicitados y presionar sobre el botón **“Sign Up”**. Si los datos son los debidos aparecerá el siguiente mensaje:



Figura 56 Mensaje de registro de usuario

Se debe confirmar el mail siguiendo los pasos indicados en el mismo.



Figura 57 mail de verificación

Se realiza la verificación y ya será posible utilizar ese usuario. Este usuario tiene de contraseña **“PipLora2023”**. Quedando disponible para ver la funcionalidad de la página en caso de que no se quiera crear una cuenta. Una vez que se verifica aparece este mensaje:



Figura 58 Mensaje de confirmación de verificación.

Una vez que se tiene un usuario registrado se puede ingresar con el mismo a través de la opción **“Login”**. Una vez ingresado nos habilitara opciones en la pestaña **“End Device”**. De esta manera se podrá acceder a los datos recolectados, y será posible bajar dichos datos a fin de darles tratamiento específico.



Figura 59 Formulario Login

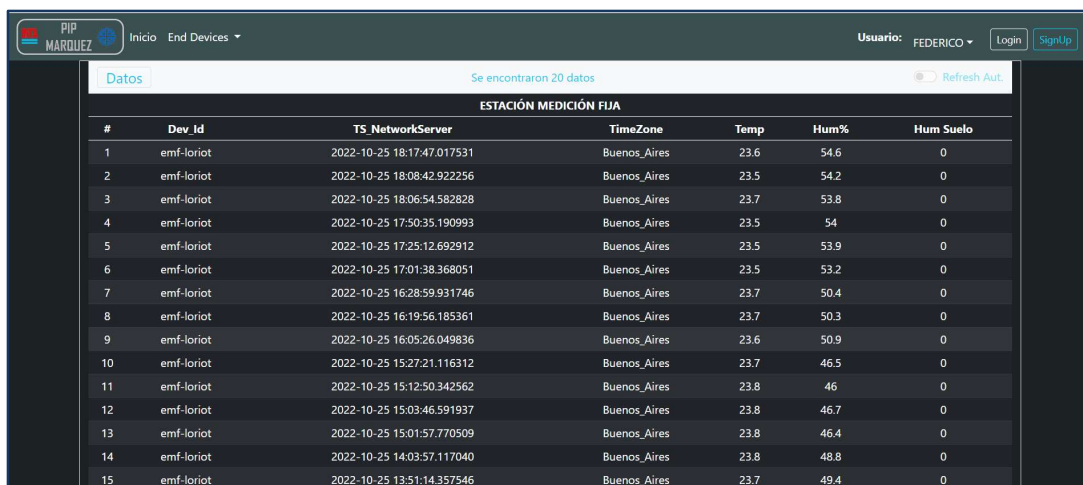


Figura 60 Opciones End Devices

Como se observar en la **Figura 60**, una vez que se realiza el login, al desplegar el ítem **“End Devices”**, de la barra de navegación, aparecen 3 opciones.

- **Estación Fija**: Para acceder a los datos de EMF
- **Estación Móvil**: Para acceder a los datos de EMM.
- **Downloads**: Para bajar datos tanto de EMF ó EMM.

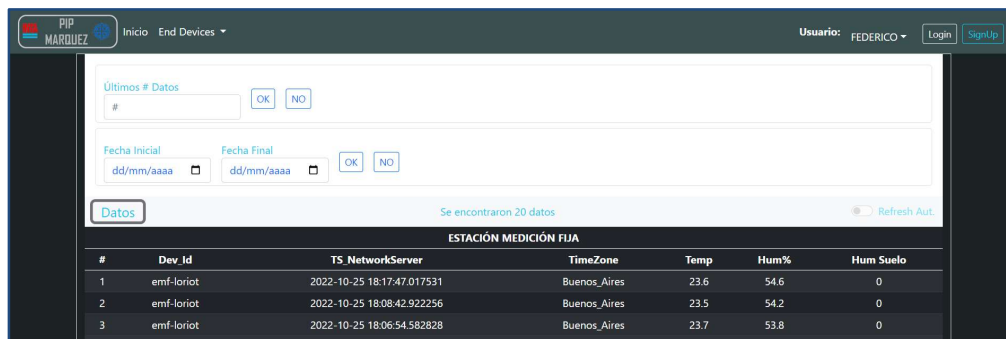
6.6.1. Estación Fija



#	Dev_Id	TS_NetworkServer	TimeZone	Temp	Hum%	Hum Suelo
1	emf-loriot	2022-10-25 18:17:47.017531	Buenos_Aires	23.6	54.6	0
2	emf-loriot	2022-10-25 18:08:42.922256	Buenos_Aires	23.5	54.2	0
3	emf-loriot	2022-10-25 18:06:54.582828	Buenos_Aires	23.7	53.8	0
4	emf-loriot	2022-10-25 17:50:35.190993	Buenos_Aires	23.5	54	0
5	emf-loriot	2022-10-25 17:25:12.692912	Buenos_Aires	23.5	53.9	0
6	emf-loriot	2022-10-25 17:01:38.368051	Buenos_Aires	23.5	53.2	0
7	emf-loriot	2022-10-25 16:28:59.931746	Buenos_Aires	23.7	50.4	0
8	emf-loriot	2022-10-25 16:19:56.185361	Buenos_Aires	23.7	50.3	0
9	emf-loriot	2022-10-25 16:05:26.049836	Buenos_Aires	23.6	50.9	0
10	emf-loriot	2022-10-25 15:27:21.116312	Buenos_Aires	23.7	46.5	0
11	emf-loriot	2022-10-25 15:12:50.342562	Buenos_Aires	23.8	46	0
12	emf-loriot	2022-10-25 15:03:46.591937	Buenos_Aires	23.8	46.7	0
13	emf-loriot	2022-10-25 15:01:57.770509	Buenos_Aires	23.8	46.4	0
14	emf-loriot	2022-10-25 14:03:57.117040	Buenos_Aires	23.8	48.8	0
15	emf-loriot	2022-10-25 13:51:14.357546	Buenos_Aires	23.7	49.4	0

Figura 61 Datos iniciales Estación Fija

Al ingresar a la opción *Estación Fija*, lo primero que muestra son los últimos 20 datos obtenidos. Si se clickea en “*Datos*”, se desplegara un pequeño menú para filtrar que datos se desean visualizar.



Últimos # Datos: OK NO

Fecha Inicial: Fecha Final: OK NO

Datos Se encontraron 20 datos Refresh Aut.

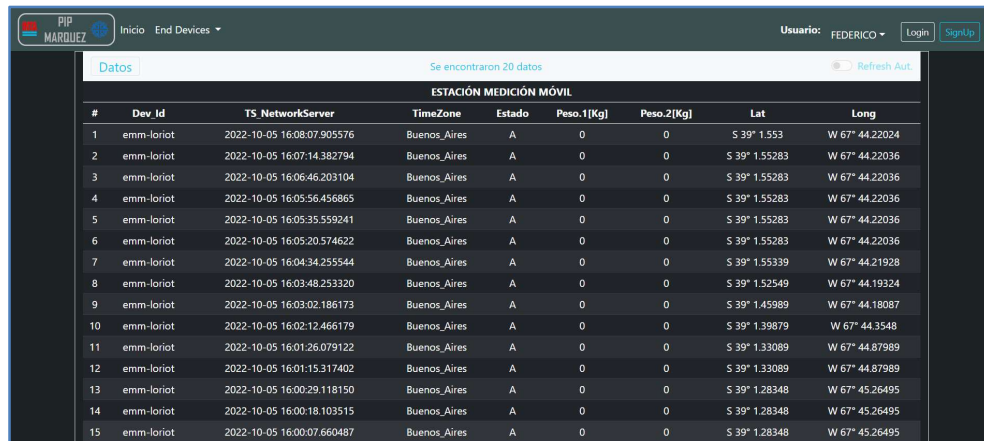
#	Dev_Id	TS_NetworkServer	TimeZone	Temp	Hum%	Hum Suelo
1	emf-loriot	2022-10-25 18:17:47.017531	Buenos_Aires	23.6	54.6	0
2	emf-loriot	2022-10-25 18:08:42.922256	Buenos_Aires	23.5	54.2	0
3	emf-loriot	2022-10-25 18:06:54.582828	Buenos_Aires	23.7	53.8	0

Figura 62 Menú Datos

Como se observa en la *Figura 62*, se pueden seleccionar cierta cantidad de últimos datos, o datos entre dos fechas. Por otro lado, al seleccionar algunos de los dos filtros disponibles, se habilita el selector “*Refresh Aut.*”, que lo que generara un refresco de los datos mostrado cada 30 segundos aproximadamente, de manera que si se seleccionan los últimos 10 datos, y llegan datos nuevos, estos se refrescaran automáticamente.

6.6.2. Estación Móvil

Al seleccionar la opción “*Estación Móvil*”, se visualizará una pantalla similar a la de *6.6.1*, pero esta vez con los datos de EMM.



#	Dev_Id	TS_NetworkServer	TimeZone	Estado	Peso.1(Kg)	Peso.2(Kg)	Lat	Long
1	emm-loriot	2022-10-05 16:08:07.905576	Buenos_Aires	A	0	0	S 39° 1.553	W 67° 44.22024
2	emm-loriot	2022-10-05 16:07:14.382794	Buenos_Aires	A	0	0	S 39° 1.55283	W 67° 44.22036
3	emm-loriot	2022-10-05 16:06:46.203104	Buenos_Aires	A	0	0	S 39° 1.55283	W 67° 44.22036
4	emm-loriot	2022-10-05 16:05:56.456865	Buenos_Aires	A	0	0	S 39° 1.55283	W 67° 44.22036
5	emm-loriot	2022-10-05 16:05:35.559241	Buenos_Aires	A	0	0	S 39° 1.55283	W 67° 44.22036
6	emm-loriot	2022-10-05 16:05:20.574622	Buenos_Aires	A	0	0	S 39° 1.55283	W 67° 44.22036
7	emm-loriot	2022-10-05 16:04:34.255544	Buenos_Aires	A	0	0	S 39° 1.55339	W 67° 44.21928
8	emm-loriot	2022-10-05 16:03:48.253320	Buenos_Aires	A	0	0	S 39° 1.52549	W 67° 44.19324
9	emm-loriot	2022-10-05 16:03:02.186173	Buenos_Aires	A	0	0	S 39° 1.45989	W 67° 44.18087
10	emm-loriot	2022-10-05 16:02:12.466179	Buenos_Aires	A	0	0	S 39° 1.39879	W 67° 44.3548
11	emm-loriot	2022-10-05 16:01:26.079122	Buenos_Aires	A	0	0	S 39° 1.33089	W 67° 44.87989
12	emm-loriot	2022-10-05 16:01:15.317402	Buenos_Aires	A	0	0	S 39° 1.33089	W 67° 44.87989
13	emm-loriot	2022-10-05 16:00:29.118150	Buenos_Aires	A	0	0	S 39° 1.28348	W 67° 45.26495
14	emm-loriot	2022-10-05 16:00:18.103515	Buenos_Aires	A	0	0	S 39° 1.28348	W 67° 45.26495
15	emm-loriot	2022-10-05 16:00:07.660487	Buenos_Aires	A	0	0	S 39° 1.28348	W 67° 45.26495

Figura 63

La opción **“Datos”**, funciona de la misma manera que en el punto anterior. Como se observa, se visualizan los datos descriptos en el punto **6.5.5.1**.

6.6.3. Downloads

Al seleccionar esta opción, se visualizarán dos formularios, uno para EMF y el otro para EMM; donde es posible seleccionar que datos se desean bajar con dos posibilidades al igual que en la opción de visualización de la opción **“Datos”**.



Figura 64

Una vez que se presiona sobre **“Download”**, se iniciara la descarga de un archivo **“.csv”**. El nombre de dicho archivo tiene el siguiente formato:

“pip_marquez_emf_February_3_2023_19_53.csv”

Donde se indica si es de EMF o EMM, la fecha y la hora.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Id	Dev_Id	Time_NS	TimeZone	Temp [°C]	PorcHum [%]	HumSuelo [%]
2		1 emf-loriot	2022-10-25 18:17:47.017531	Buenos_Aires	23.6	54.6	0
3		2 emf-loriot	2022-10-25 18:08:42.922256	Buenos_Aires	23.5	54.2	0
4		3 emf-loriot	2022-10-25 18:06:54.582828	Buenos_Aires	23.7	53.8	0
5		4 emf-loriot	2022-10-25 17:50:35.190993	Buenos_Aires	23.5	54	0
6		5 emf-loriot	2022-10-25 17:25:12.692912	Buenos_Aires	23.5	53.9	0
7		6 emf-loriot	2022-10-25 17:01:38.368051	Buenos_Aires	23.5	53.2	0
8		7 emf-loriot	2022-10-25 16:28:59.931746	Buenos_Aires	23.7	50.4	0
9		8 emf-loriot	2022-10-25 16:19:56.185361	Buenos_Aires	23.7	50.3	0
10		9 emf-loriot	2022-10-25 16:05:26.049836	Buenos_Aires	23.6	50.9	0
11		10 emf-loriot	2022-10-25 15:27:21.116312	Buenos_Aires	23.7	46.5	0
12							
13							

Figura 65 Ejemplo 10 últimos datos descargados

7. Enlace

En los puntos anteriores, se describió el desarrollo del sistema de tal manera que se lograra publicar y dejar registrado en la página web, los datos de interés. Todo lo anterior es posible probarlo, en pruebas de laboratorio, donde los E-D y el Gateway, no se encontraban alejados, si bien se respeta a grandes rasgos la arquitectura de la **Figura 10**, no es el uso real que se le quiere dar al sistema.

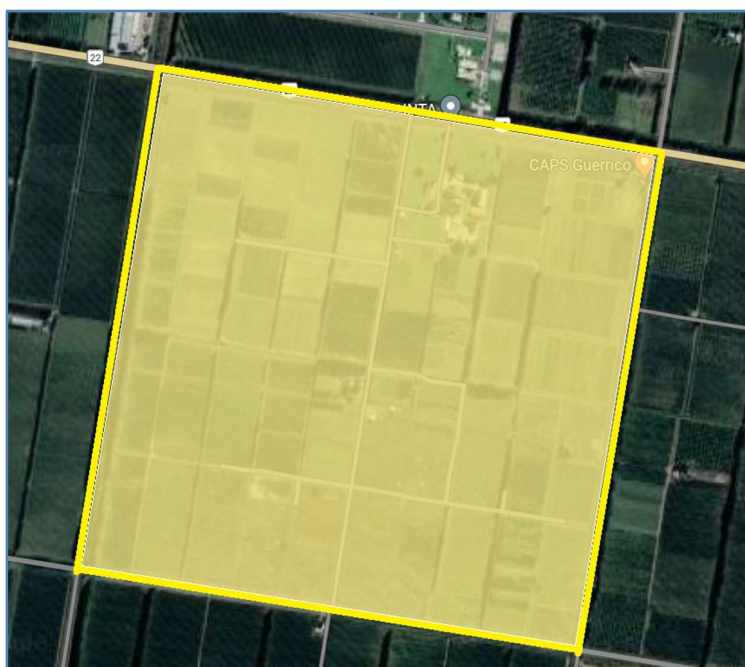


Figura 66 Estación Experimental Agrop. INTA EEA Alto Valle

Este prototipo está pensado para inicialmente ser utilizado en la Estación Experimental Agropecuaria de INTA EEA Alto valle en cercanía de la localidad rionegrina de Guerrico.



Figura 67 Posición de Antena de Gateway

La posición de la torre donde se montará el Gateway, es el indicado en la **Figura 67**, que en la actualidad soporta la estación meteorológica de la Estación Experimental Agropecuaria (EEA). De acuerdo a la disposición del terreno de la EEA, se procedió a tomar como punto de interés de análisis el ubicado en la esquina Sur-Oeste. La distancia entre dichos puntos es de casi 950 mts como se observa en la **Figura 68**.



Figura 68 Dist. entre GW y punto lejano de EEA

En la línea de “visión” entre esos dos puntos, se atraviesan dos alamedas de importantes dimensiones y varios cuadros en producción como se ve en la **Figura 68**.

7.1. Criterios del enlace

Para asegurar que un enlace de radio puede ser realizado, se debe verificar dos puntos principales:

- Potencia recibida en el receptor.
- Línea libre de visión.

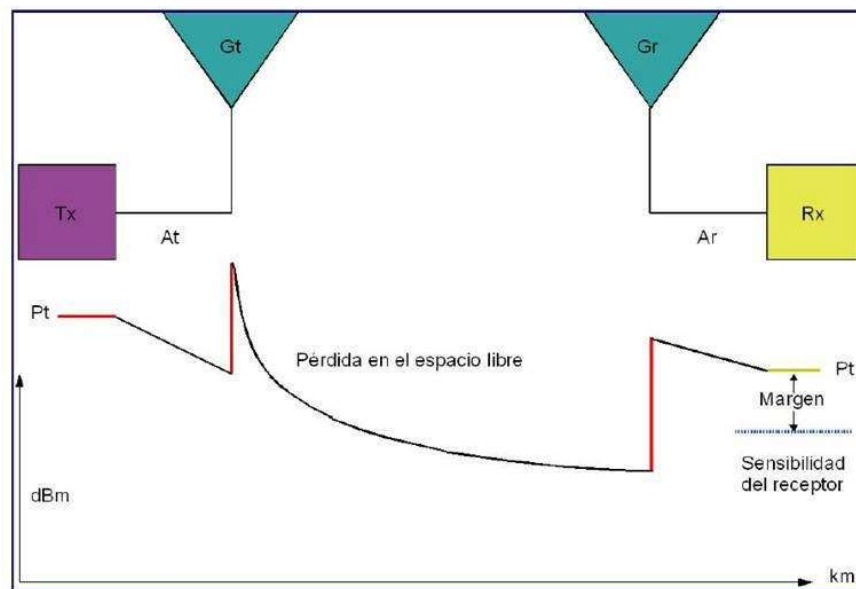


Figura 69 Pérdidas en Enlace

7.1.1. Potencia Recibida

La potencia recibida en el receptor dependerá de la sumatoria de todas las ganancias desde la salida del transmisor (TX) hasta la entrada del receptor (RX), menos la sumatoria de todas las pérdidas en el mismo trayecto. Si la potencia de recepción es mayor a la sensibilidad del receptor, es posible asegurar en parte el enlace, por lo menos desde el punto de vista de la potencia recibida.

Siguiendo como guía la **Figura 69**:

$$Pr = Pt - At + Gt - PEL + Gr - Ar$$

Agrupando:

$$Pr = (Pt + Gt + Gr) - (At + PEL + Ar) \text{ Ec.2}$$

Donde:

Pr= Potencia de Recepción (dbm)

Pt= Potencia del transmisor(dbm)

Gt= Ganancia de Antena TX (dbi)

Gr= Ganancia Antena RX(db)

At= Pérdidas Cable TX (db)

Ar= Pérdida Cables RX(db)

PEL= Pérdida en Espacio Libre

Pérdida Espacio Libre:

Según recomendación **UIT R-P.525-2**, de la Unión Internacional de Telecomunicaciones para enlace punto a punto:

$$PEL = 32,4 + 20\text{Log}(f) + 20\text{Log}(d) \text{ Ec. 3}$$

Donde:

PEL= Pérdida en Espacio Libre (db)

f= Frecuencia portadora en MHz

d=Km

Para el punto indicado en **Figura 68**:

$$PEL=32,4 + 20\text{Log}(915)+20\text{Log}(0,95)$$

$$PEL=91,182. \text{ (I)}$$

Teniendo en cuenta Ec.2

$$Pr=(20+2,5+2,5)-(3+91.182+3) \text{ (II)}$$

En II se tiene en cuenta 3db de pérdida por conexión de antena en cada lado del enlace, despreciando el posible uso de cables por ser de corta dimensión en caso de ser utilizado.

Entonces :

$$Pr= -72,182 \text{ (III)}$$

Para este proyecto se evaluaron herramientas que permitieran un cálculo de enlace más directo, una de ellas fue **“LinkCalc”** (<https://linkcalc.ligowave.com/>). Esta herramienta

permite verificar rápidamente un enlace punto a punto, indicándole parámetros de ubicación geográfica, frecuencia, alturas y ganancia de antenas etc.

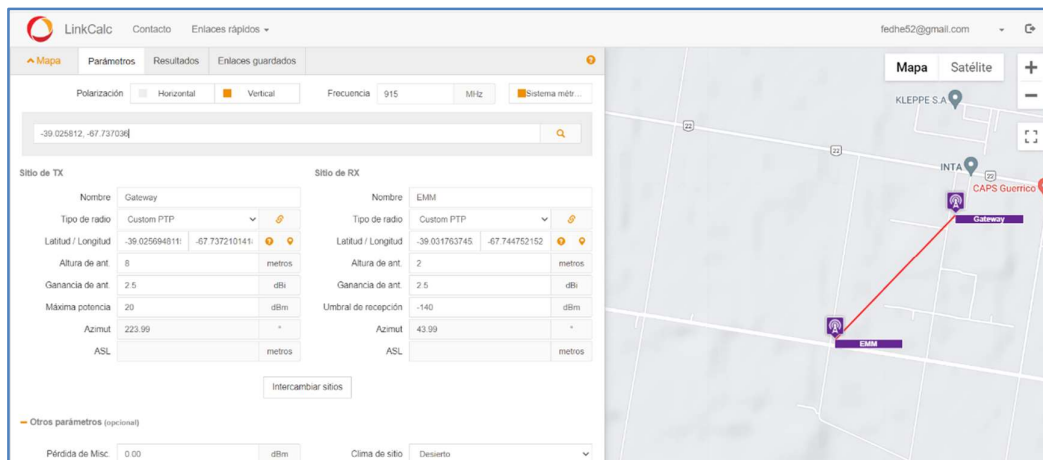


Figura 70 Cálculo enlace con LinkCalc

En la **Figura 70**, se observan los parámetros cargados: Polarización, frecuencia, ubicaciones geográficas, altura y ganancia de antenas.

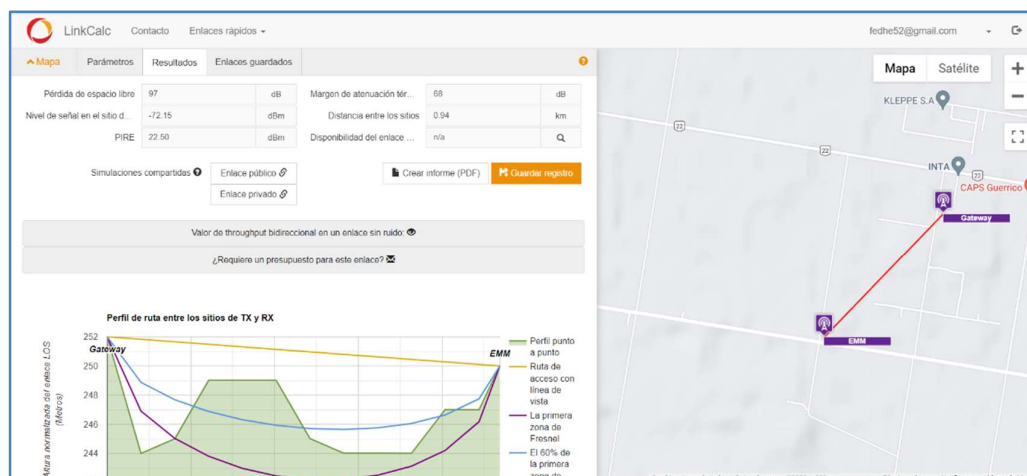


Figura 71 Resultados de Cálculo Enlace

Como se puede observar la “Pérdida de Espacio Libre”, es similar a la calculada en (I), y el “Nivel de señal en sitio d”, es similar a (III). Por lo que se concluye que sería posible utilizar esta herramienta a fin de evaluar la factibilidad de enlaces desde el punto de vista de niveles de señales.

7.1.2. Zona Fresnel

Si observamos la **Figura 71**, en la parte inferior se observa un gráfico, que da una idea de la altimetría, en el trayecto entre los puntos del enlace, y como afectan desde el punto de vista de despeje de línea de visión.

En un enlace de radio, entre el transmisor y el receptor, viajan varios haces de la misma onda, la que viaja directo, y las refractadas y/o difractadas. Por lo que en el receptor estas ondas se pueden sumar constructivamente o destructivamente. En la práctica, para determinar si un enlace se va a poder establecer, es necesario asegurar que el 60% de la zona “1” de fresnel este libre. De manera que sean más los haces que se suman constructivamente que las que deterioran la señal recibida.

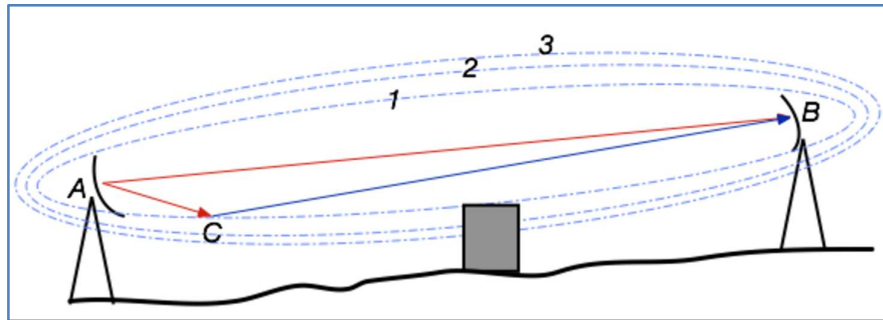


Figura 72 Zona Fresnel

La zona de Fresnel, es una superficie elipsoide de infinitos elipses de revolución, de manera que los focos de la elipse este ubicado en la antena del Tx y del RX., donde las ondas directas y reflejadas tienden a sumarse constructivamente. Si se realiza un corte con un plano perpendicular al eje central de los elipsoides, se generarían círculos. En un punto del trayecto entre TX y RX que está a d1 de Tx y a d2 de Rx, el radio de dicho círculo viene dado por (RECOMENDACIÓN UIT-R P.526-10*):

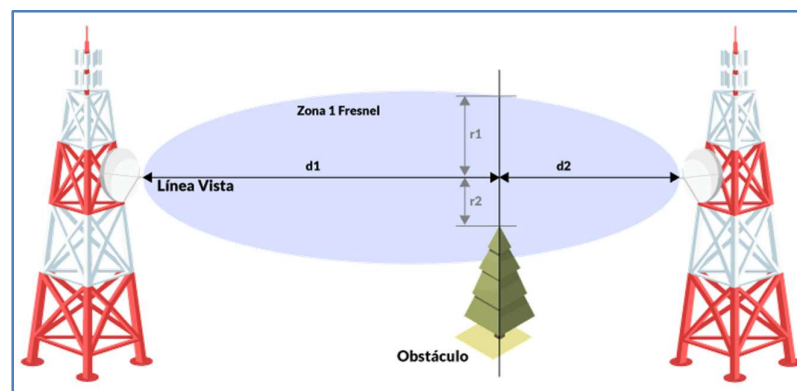


Figura 73

$$r(n) = 550 \left[\frac{n \cdot d1 \cdot d2}{(d1 + d2) \cdot f} \right]^{\frac{1}{2}} \text{ (IV)}$$

Donde:

r = Radio en metros del círculo a una distancia dada entre TX y RX.

n = Número entero positivo que indica cual de las infinitas zonas de fresnel se refiere el radio.

$d1$ = Distancia en Km desde donde se analiza el círculo al Tx

$d2$ = Distancia en Km desde donde se analiza el círculo al Rx

f = Frecuencia en MHz.

Para que un enlace no tenga efectos de atenuación por ondas reflejadas, es necesario que este despejado el 60% de radio del círculo de la zona 1 de fresnel, en el punto que se encuentre el obstáculo. En el ejemplo de la **Figura 72**, se debería cumplir que $r2 \geq 0,6 \times r1$, o sea:

$$r(1) = 550 \sqrt{\left[\frac{d1 \cdot d2}{(d1 + d2) \cdot f} \right]}$$

El caso más perjudicial es en el medio del trayecto donde el radio de los círculos es máximo, por lo que es el que mayor distancia de despeje del eje central requiere. En ese punto $d1=d2$ entonces:

$$r(1) = 550 \sqrt{\left[\frac{d^2}{(2d) \cdot f} \right]}$$

$$r(1) = 550 \sqrt{\left[\frac{d}{2 \cdot f} \right]} \quad (V)$$

Para el punto de estudio, indicado en la **Figura 68**, se tiene que :

$d = (0,95/2)$ Km y $f = 915$ MHz, entonces

$$r(1) = 550 \sqrt{\left[\frac{0,475 \text{ Km}}{2 \cdot 915} \right]}$$

$$r(1) = 8,86 \text{ mts. (VI)}$$

Debido a VI, en el punto medio el despeje desde la línea central del enlace debería ser:

$$r = 0,6 \cdot r(1);$$

$$r = 5,32 \text{ mts. (VII)}$$

En la zona de estudio, por ser zona de plantaciones con cortinas de álamos para aplacar los vientos, no es posible por lo general cumplir con lo indicado en VII. Por lo que solo se lo tiene en cuenta a sabiendas que habrá una atenuación en el enlace por no poder asegurar en todo momento la línea de visión requerida.

8. Pruebas de Campo

Como se mencionó en puntos anteriores, se realizó prueba de campo en la Estación Experimental Agropecuaria, del INTA. En el punto indicado en la **Figura 67**, se aprovechó la torre, donde está instalada la estación meteorológica. En la **Figura 74**, se observa dicha torre y la ubicación final del Gateway (Flecha Amarilla). La altura final del Gateway fue de 8 mts, que fue lo utilizado para el cálculo de enlace en la herramienta on-line mostrada en el punto anterior.



Figura 74 Torre Gateway

Debido a que en el punto de la torre no se contaba con acceso a internet de la red wifi de INTA, se procedió a suministrar internet desde un celular que se dejó montado a unos 3 metros del suelo sobre la primera base (Flecha Verde), ya que a nivel del piso tampoco se contaba con buena señal 4G. Estos datos dan cuenta de la dificultad de conectividad en un establecimiento rural, que es el problema principal a ser solucionado con el uso de la tecnología mostrada en este PIP.

La Estación de Medición Móvil (EMM) se montó sobre el vehículo de la imagen para hacer un recorrido en la chacra a fin de emular la plataforma de cosecha autopropulsada. Esto se muestra en la **Figura 75**.



Figura 75 Ubicación de Antena EMM

Como se observa en la imagen, la antena del EMM quedo ubicada unos 2mts aproximadamente. La foto de la imagen fue tomada a unos 10 mts al norte del punto de análisis usado en el punto 7. A la derecha se observa una plantación activa, y a la izquierda la hilera de álamos que delimita el predio del INTA.

8.1. Datos Obtenidos

Como se indicó en el punto 5.1.2, el sistema de Gateway y Networkserver utilizado, nos brindan información referido a la calidad del enlace de cada paquete recibido. Realizando un adecuado registro de dichos valores en la Base de datos de la página web, se realizó un análisis posterior a la prueba de campo realizada.

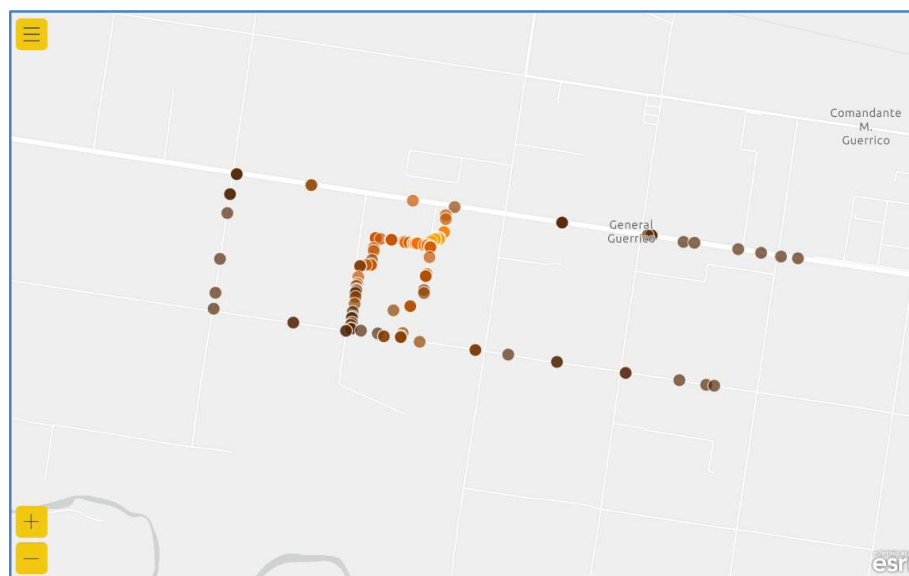


Figura 76 Puntos de datos

En la **Figura 76**, se observan los puntos ubicados geográficamente según el lugar de envío, y están coloreados según el nivel de intensidad de recepción (RSSI). Los más claros

tienen mayor RSSI que los más oscuros. En la zona central donde se acumulan puntos claros, es la zona de la torre donde se ubicó el Gateway.

Como se observa en la imagen, hay puntos por fuera del predio del INTA, ya que se aprovechó para hacer pruebas de alcance máximo. El último punto sobre la ruta 22 hacia el este, es en el que se logró establecer enlace y se toma como alcance máximo. Como se observa en la **Figura 77**, ese punto se encuentra sobre la ruta nacional n° 22 a 2690 mts de la torre del Gateway. Luego de comprobar que en esa zona se perdía la señal, se retornó a la zona de chacras por el camino cercano en dirección sur.

Retornando por el camino lindante al sur al predio del INTA, y retornando hacia RN22 luego de pasar los límites del predio. Esto se hace evidente en la traza de puntos mostrada en la **Figura 76**.

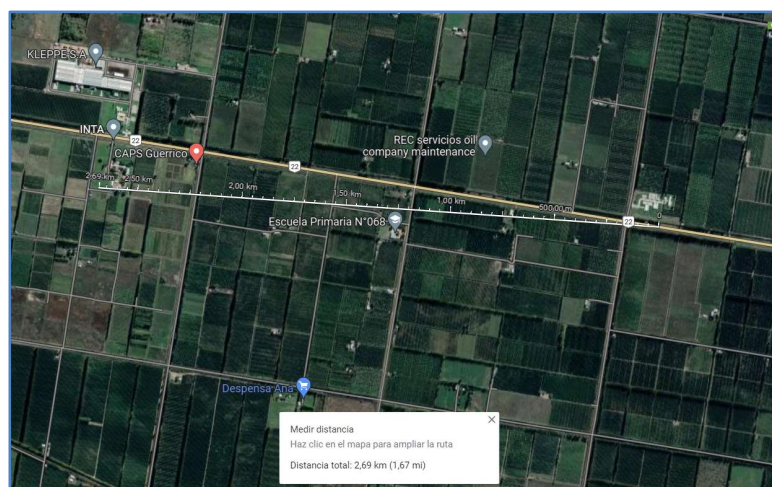


Figura 77 Punto lejano de prueba de campo

En el gráfico de la **Figura 78**, se muestra los valores de intensidad de señal de recepción (RSSI) y relación señal a ruido (SNR), obtenidos en cada transmisión exitosa en el recorrido realizado en la prueba de campo. Cabe notar que tanto RSSI y SNR siguieron la misma tendencia punto a punto, las curvas se “acompañan” en cuanto a la forma de amplitud. En el eje de abscisas, es la hora de cada muestra.

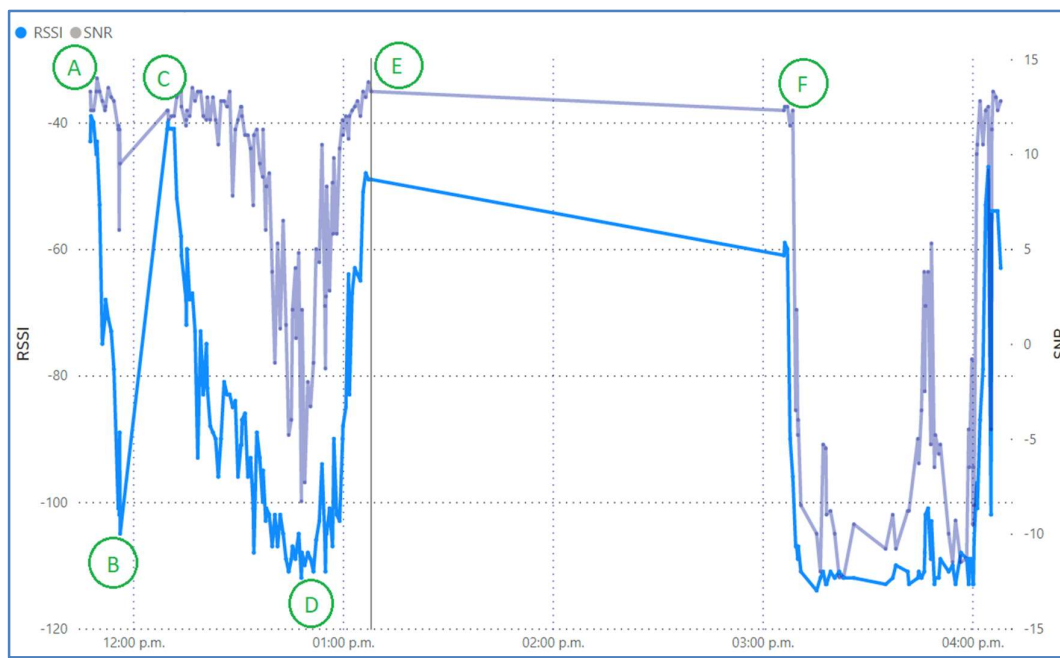


Figura 78 Gráfico de RSSI y SNR

Entre los puntos “A” y “B”, se encuentra una primera prueba de funcionamiento a fin de determinar si el sistema estaba funcionando. Desde el punto “C” al “D”, es la prueba entre la torre de del Gateway hasta el punto lejano usado como ejemplo de estudio en el punto 7, y mostrado en la **Figura 68**. Como se observa, RSSI y SNR se fue minimizando hasta valores de -112 aproximadamente para RSSI y -9 en el caso de SNR. Hay que tener en cuenta que la sensibilidad límite del dispositivo “End-Device”, más precisamente del módulo RN2903, que es el responsable de suministrar la conectividad **LoRAWAN™**, es de **-146dBm**. Debido a esto se observa que en el punto más lejano y con las condiciones antes descriptas de obstrucción de línea de visión, aún queda un margen hasta la intensidad de señal límite.

Desde el punto “D”, al “E”, se representa los valores de los puntos de regreso hasta el Gateway. Observar que desde el punto “C” al “E”, transcurrió alrededor de 1 hora. Esto se debió a que se realizó en vehículo, pero a paso de hombre, intentando emular la velocidad de desplazamiento de la cosechadora motorizada.

Entre el punto “E” al “F”, hubo una parada técnica, a fin de chequear la disponibilidad de los puntos en la base de datos de la página web, confirmando el éxito de la primera etapa de la prueba. Luego los puntos desde “F” en adelante, corresponde a los puntos de prueba del recorrido desde el Gateway, saliendo fuera del predio de INTA y realizando el recorrido por los caminos lindantes al predio.

Cabe aclarar, que, durante todos los recorridos, hubo desconexiones de la red LoRAWAN™, pero como se observa en el diagrama de la **Figura 52**, la Estación de

Medición Móvil (EMM) al detectar que no estaba unido a la red, nos da un aviso por pantalla y realiza el procedimiento de “JOIN”.

9. Conclusiones

El desarrollo de este Proyecto Integrador, permitió adquirir conocimientos acerca del uso de la tecnología IoT, más precisamente del protocolo LoRAWAN™, lo cual no hubiera sido factible sin los conocimientos adquiridos previamente en la cursada de la carrera de Ingeniería Electrónica.

Es observable la utilidad de protocolos LPWAN (Redes de Baja Potencia y Áreas Amplias), ya que con pocos dispositivos es posible aportar conectividad inalámbrica para diferentes proyectos. Por ser las áreas rurales, zonas de baja densidad poblacional, es común la falta de puntos de acceso a internet, y la colocación de uno suele ser más caros que en zonas más densamente pobladas.

Este proyecto fue una muestra de ello, en la totalidad del predio de INTA EEA Alto Valle, no se cuenta con accesos a internet. De hecho a nivel de suelo tampoco se cuenta con red 4G de telefonía celular. La implementación de una red pública LoRAWAN, ofrecería una solución al sector Agropecuario de Alto Valle permitiendo proyectos como el descripto para la Cosechadora Autopropulsada.

Es necesario hacer notar, que las pruebas de campos fueron realizadas según la disponibilidad de recurso y la factibilidad de la realización de las mismas. Por ejemplo, la altura donde se colocó el Gateway (8 mts aproximadamente) no fue la óptima. En una red real, dicha altura no debería ser menor a 20 mts. Por otro lado, se proveyó de internet al Gateway, utilizando un celular, colocado en elevación en modo Host, de ahí por WiFi a una notebook, y de ahí compartiendo internet por cable de red. Todo esto es posible mejorarlo usando los dispositivos adecuados.

9.1. Propuesta de Mejora

El primer punto a mejorar es el acceso a internet por parte del Gateway. En la actualidad existen infinidad de puntos de acceso industriales con redes 4G. Por ser de rango de alimentación amplio, es posible utilizarlos en la implementación de una solución que contemple alimentación por Paneles solares.



Figura 79 Propuesta de mejora Gateway

En la **Figura 79**, se muestra una solución a la instalación del Gateway. La misma consiste en los siguientes elementos principales

- Panel solar de mínimo 55Wp.
- Batería recargable, gel 12V 14A
- Regulador de carga solar con salida UBS para alimentación del Gateway, por ejemplo el NV2024U de **LTC Electronics**
- Router 4G Industrial, por ejemplo USR-G806-AU de **USR IoT**, el cual admite alimentación de 9 a 30 Vdc, y ofrece conectividad 4G, dos puertos Ethernet y WiFi 2.4 GHz, IEEE 802.11 b/g/n.

Con los elementos arriba descriptos, un gabinete para intemperie adecuado, y una torre, sería posible instalar Gateways de acceso **LoRAWAN™**, que permitan usar dicha tecnología para brindar soluciones en zonas rurales como el predio de INTA.

El segundo punto de mejora, a tener en cuenta, es el cambio de “Región” de las bandas de frecuencias utilizadas. Debido a que el kit original venia en Base US915, para cumplimentar la legislación vigente, es necesario migrar a AU915. Debido a esto si en un futuro se decide utilizar el kit de forma permanente dentro del territorio argentino, se debe estudiar la manera de migrar a la banda de frecuencias permitida.

10. Bibliografía orientativa Libros y documentos:

- [1] A. Alabau y J. Riera. (1986). Teleinformática y Redes de Computadoras.
- [2] Douglas E. Comer (1996). TCP/IP.
- [3] Fred Halsall (1998). Comunicaciones de Datos, Redes de Computadores y Sistemas Abiertos.
- [4] LoRa Alliance, Inc. All rights reserved. (2016). LoRaWAN Specification V 2. Copyright © 2016.
- [5] Microchip© Technology Inc. (2016). LoRa® Evaluation Suite User's Guide. (DS40001847).
- [6] Richard Stevens. (2011). TCP/IP Illustrated, Volume 1.
- [7] Tanenbaum (2012). Redes de Computadoras.
- [8] Tomasi. (2003). Sistemas de Comunicaciones Electrónicas.
- [9] William Stallings (2004). Comunicaciones y Redes de Computadores.
- [10] RECOMENDACIÓN UIT-R P.525-2 (1994), Unión Internacional de Telecomunicaciones

Normas y ordenanzas:

- [10] RESOL-2019-4653-APN-ENACOM#JGM. Año 2019

Enlaces:

- [11] <https://lora-alliance.org/>
- [12] <https://www.arsat.com.ar/conectividad-rural>
- [13] <https://www.enacom.gob.ar/normativas/grupos>
- [14] https://www.rionegro.com.ar/plataforma-de-poda-y-cosecha-gano-dos-premios-cita-NRRN_3368436/
- [15] <https://www.link-labs.com/blog/sigfox-vs-lora>