

Versión: 0.3

El próximo 28 de noviembre tiene previsto el lanzamiento del pico satélite FOSSASAT-1, desarrollado por el equipo de FOSSA SYSTEMS (Free Open Source Software & Aerospace Systems) que incorpora por primera vez, un transceptor con sistema LoRa (Long Range) que permite una comunicación muy eficiente para el envío de paquetes de datos de pequeñas dimensiones.

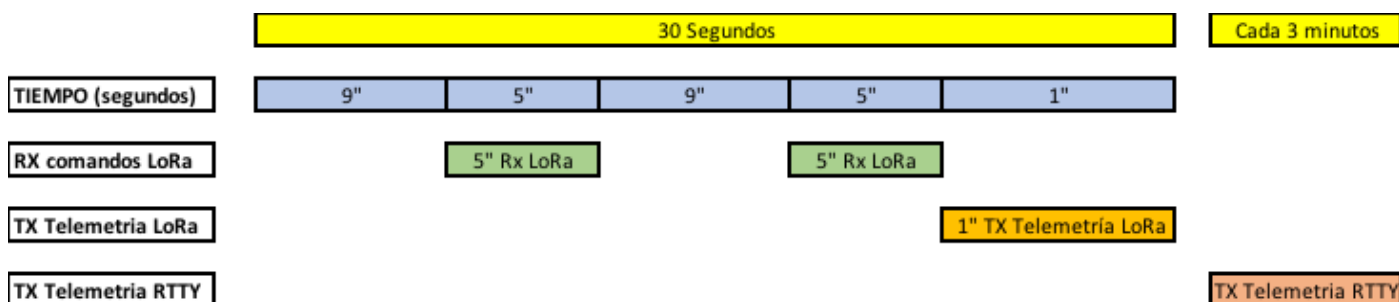
El sistema LoRa es ampliamente utilizado en proyectos de IoT (Internet of Things) o Internet de las Cosas, que permite interconectar múltiples sensores vía radio con un largo alcance y con un consumo de potencia mínimo.

Descripción del Satélite

El satélite es un cubo de 5 cm de lado que incluye el equipamiento necesario para recibir pequeños paquetes de datos para su retransmisión a tierra y transmitir información de Telemetría del mismo.

Cuando esté en orbita, el satélite operará como un pequeño repetidor de datos y como emisor de telemetría. Debido a su diseño, basado en un transceiver integrado en un único chip LoRa SX1268 de SEMTECH (<https://www.semtech.com/products/wireless-rf/lora-transceivers/sx1278>) , que es un modulo que opera en Half-Duplex, por tanto el satélite tendrá periodos de recepción y periodos de transmisión.

Según la información proporcionada, los períodos de Recepción en modo LoRa será de 5 segundos, cada 9 segundos y que enviará los datos de telemetría, cada 30 segundos en modo LoRa y cada 3 minutos en modo RTTY.



Frecuencias y Modos

Como el satélite trabaja en Modo Half Duplex, la frecuencia empleada es la misma tanto en el enlace descendente como ascendente.

Enlace	Frecuencia	Modo
Downlink LoRa	436.700 MHz	LoRa Repetidor, LoRa Telemetría
Downlink RTTY		RTTY Telemetría. 45 Bauds / 182 Hz Shift / Baudot
Uplink LoRa		LoRa para enviar comandos y Mensajes de hasta 32 caracteres

Para conocer más detalles del sistema de comunicaciones del satélite, leer el documento "FOSSASAT-1 Communication Guide" (<https://github.com/FOSSASystems/FOSSASAT-1/blob/master/FOSSA%20Documents/FOSSASAT-1%20Comms%20Guide.pdf>)

Estación Terrena

Para recibir la información de telemetría del FOSSASAT-1, en el modo LoRa se necesita una estación receptora/transmisora que emplee ese modo de comunicaciones específico, esto que en principio puede parecer una dificultad, resulta una gran oportunidad para la experimentación dado el bajo coste de los módulos transceptores LoRa está alrededor de los 6 Euros.

La estación terrena mas básica, se construye a partir de 3 módulos fácilmente accesibles a través de internet

- Modulo LoRa (Transceiver)
- Microcontrolador Arduino Pro Mini 3,3V 8MHz
- Modulo FTDI232
-

Y se completa con un ordenador donde emplearemos un programa Terminal como PuTTY o CoolTerm

Módulos LoRa

<https://ebay.us/d88Oxu>

En internet es fácil encontrar módulos LoRa listos para ser empleados en nuestra estación terrena. En general la mayoría de los módulos están basados en Chips SX de la compañía SEMTECH. Dentro de las alternativas más accesibles, está el SX1278 que es el que he escogido por su amplia disponibilidad y bajo coste.)

Las características mas relevantes del chip SX1278 son las siguientes:

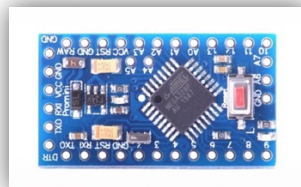
Parámetro	Medidas
Rango de Frecuencias	137 – 525 MHz
Modulaciones Disponibles	LoRa, FSK, GFSK, MSK, GMSK, y OOK
Potencia Máxima de RF	+20 dBm (100mW)
Tensión Alimentación	3,3 Voltios
Consumo en Rx	< 10 mA
Consumo Tx a +20 dBm	120 mA
Sensibilidad Rx	-148 dBm
Comunicación con Micro	Bus SPI (a 3,3 Voltios)
Pines I/O Digitales	DIO0, DIO1, DIO2 (a 3,3 voltios)

Este chip se encuentra ya soldado a una placa con el correspondiente conector de antena tipo IPX y con dos líneas de Pins que permiten un fácil montaje tanto en una protoboard para experimentar como para PCB para su montaje definitivo.



Microcontrolador Arduino Pro Mini 3,3 Voltios

<https://ebay.us/1ipo8J>



Para controlar el modulo LoRa se pueden emplear diversas placas de microcontrolador, Arduino UNO, Nano, Pro Mini, STM32, ESP32, pero la solución mas simple es emplear un Arduino Pro Mini de 3,3 voltios.

Aunque el chip SX1278, acepta entradas de hasta 5 voltios en sus pines digitales, mi experiencia conectando a placas Arduino con salidas de 5 voltios, es que el funcionamiento es poco fiable, por lo que lo mas sencillo es emplear un Arduino Pro Mini de 3,3 Voltios

Adaptador Serie USB FTDI232

<https://ebay.us/pYfYe1>

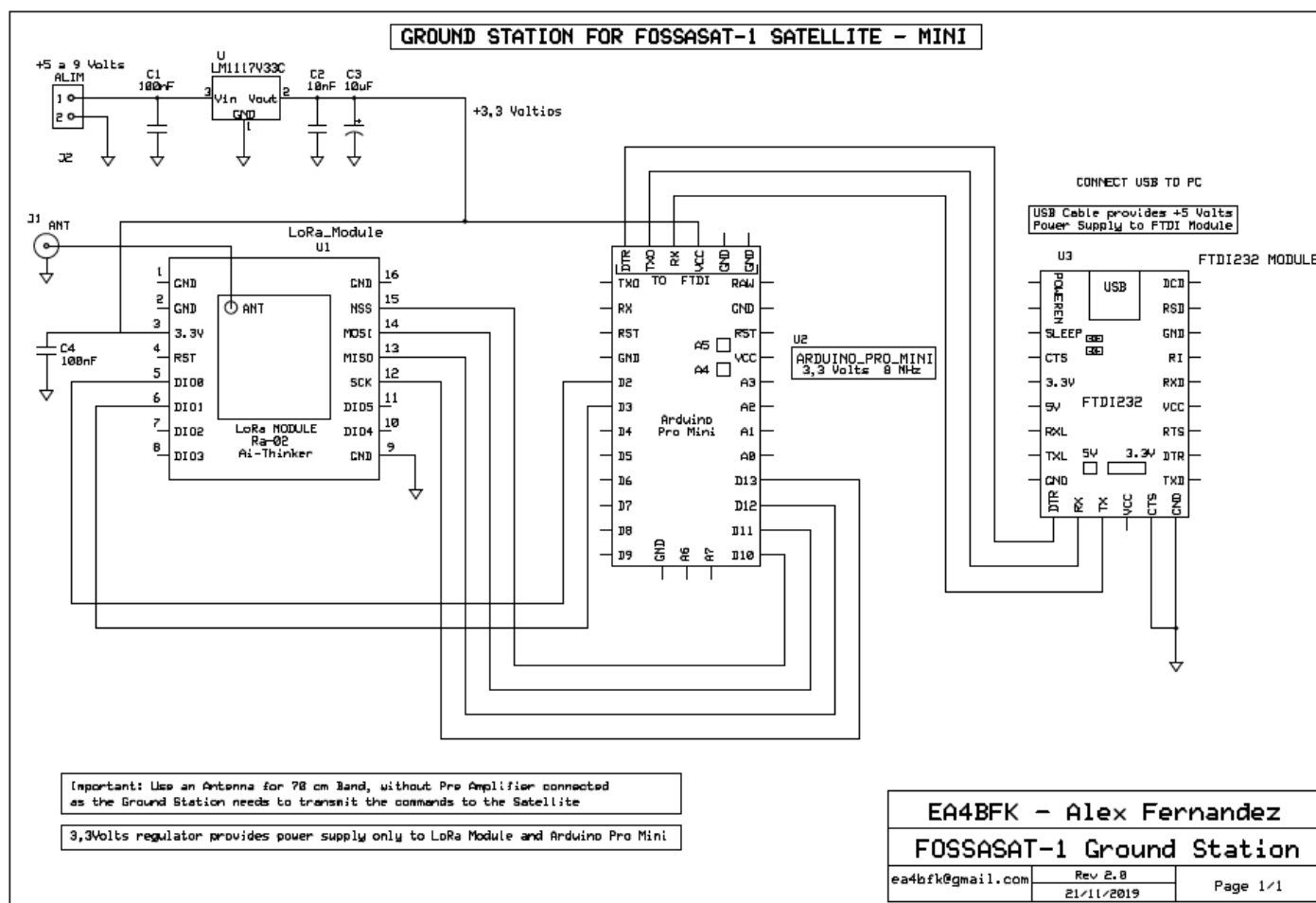


La placa Arduino Pro Mini, no dispone de conector USB como el resto de las placas Arduino, por lo que necesitamos un conversor serie que convierta la salida serie del arduino a USB, para poderlo conectar al PC.

Adicionalmente para alimentar todos los módulos, necesitaremos un regulador de tensión de 3,3 Voltios que sea capaz de manejar mínimo 250mA, dado que en Transmisión el consumo llega hasta 150 mA.

Esquema de conexiones

(https://github.com/EA4BFK/FOSSASAT-1_PROJECTS)



Pin LoRa	Pin Arduino Pro Mini	Descripción
3.3V	3.3V	Alimentación del LoRa desde el regulador de 3.3V del Arduino
GND	GND	Masa
SCK	D13	Reloj del Bus SPI
MISO	D12	Datos salientes Bus SPI
MOSI	D11	Datos entrantes Bus SPI
NSS / CS	D10	Clear Select del Módulo LoRa. Chip Select Bus SPI
DIO0	D2	Digital I/O Pin del LoRa. Fijado en el Código del Ground station
DIO1	D3	Digital I/O Pin del Lora. Fijado en el Código de GroundStation
ANT (IPX)	-----	Antena 436,7 MHz

En el enlace https://github.com/EA4BFK/FOSSASAT-1_PROJECTS/tree/master/GroundStation%20Schematics, están disponibles los esquemas para placas Arduino Uno y Arduino MEGA.

En el caso de Arduino UNO, se emplean convertidores de nivel 3,3V a 5V (<https://ebay.us/GuHMeJ>).

En el caso de Arduino MEGA, se emplean convertidores de nivel también, y se incluye la posibilidad de conectar un segundo puerto serie, para tener dos salidas serie, que permiten emplear un programa terminal para enviar comandos, y un segundo puerto para re-enviar los datos recibidos a una hoja Excel mediante el uso del macro Excel PLX-DAQ.

Antena

Como antena podemos emplear la antena habitual de 432 MHz, aunque una antena de satélite con control de Azimut y Elevación nos permitirá mejorar notablemente la recepción considerando que la potencia de transmisión del Satélite es de 100mW

Es importante no conectar el previo de RF si disponemos de el, debido a que durante la transmisión la baja potencia del SX1278, es probable que no active el cambio de Rx a Tx.

IMPORTANTE: La antena debe estar siempre conectada porque el Transceiver no tiene protección ante un alto nivel de estacionarias.

Software para la Ground Station

Para comunicarnos con el satélite, es necesario cargar en la placa del Arduino el código del programa Ground Station disponible en: <https://github.com/FOSSASystems/FOSSASAT-1>

Código Arduino

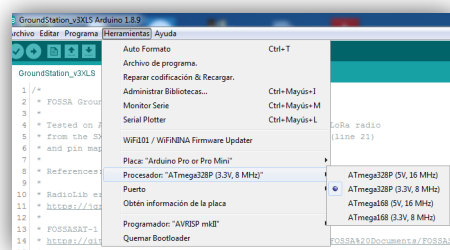
Antes de compilar el código, es necesario instalar las librerías necesarias para este proyecto y que podéis descargar desde los siguientes enlaces:

- RadioLib 2.0.0: <https://github.com/jgromes/RadioLib>
- FOSSA-Comms 1.0.0: <https://github.com/FOSSASystems/FOSSA-Comms>
- AESLib (for FOSSA-Comms 1.0.0 and AVR boards: : <https://github.com/DavyLandman/AESLib>
- tiny-AES-c (for non-AVR boards): <https://github.com/FOSSASystems/tiny-AES-c>

Para cargar el código finalmente en la placa, se procede como en cualquier programa de Arduino, conectando el USB del modulo Seri FTDI232 al ordenador, seleccionamos el Puerto serie que le haya asignado Windows, y como Placa seleccionamos

Placa: "Arduino Pro or Pro Mini"

Procesador: "ATmega328P (3.3V, 8 MHz)"



Si el montaje se realiza con otra placa, hay que seleccionar la placa que se utilice obviamente.

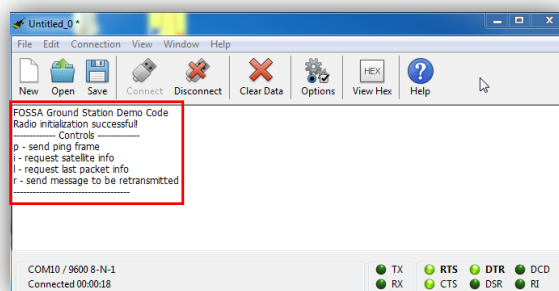
Una vez subido el código al Arduino, podemos utilizar cualquier programa Terminal para conectarnos al Programa de Recepción del FOSSASAT-1.

Programas terminales:

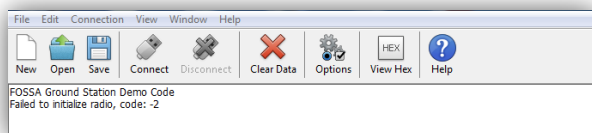
- **Monitor Serie** del IDE de Arduino
- **CoolTerm**. Gratuito y disponible para todos los Sistemas operativos y Raspberry Pi(<https://freeware.the-meiers.org/>)
- **PuTTY**. Gratuito y disponible solo para Windows <https://www.putty.org/>

Uso del Programa del Recepción

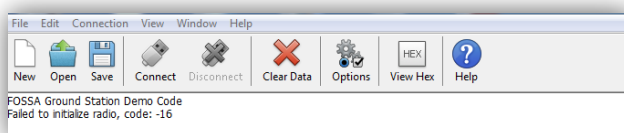
Una vez conectado el puerto serie, abrimos el terminal y nos conectamos al puerto serie y aparecerá el Menú de opciones si todas las conexiones son correctas:



Si la segunda línea no indica *Radio initialization successful*, como en la captura anterior y aparecen errores como:



Failed to initialize radio code -2
Failed to initialize radio code -16



=> Dispositivo LoRa no identificado
=> Problemas de comunicación SPI

Revisar las conexiones especialmente el BUS SPI que es el que causa el error.

Comandos

Las acciones posibles con la Estación de Tierra se realizan mediante la introducción de la letra correspondiente en el programa Terminal: (siempre en minúsculas)

Comando	Acción
p	Envía un ping al satélite. Si éste lo recibe responderá con un Pong
i	Envía una solicitud de información de la telemetría del satélite. Si éste lo recibe responderá con un paquete de datos que incluye la información de Telemetría
l	Envía solicitud de información sobre el último paquete recibido por el Satélite. Si éste lo recibe responderá con información sobre la señal ruido (SNR) y con el nivel de señal (RSSI) del último paquete recibido
r	Envía un Texto de max 32 caracteres, para enviar al satélite y que este lo retransmita de vuelta a tierra.

Envío de solicitud PING (p)

Confirmación de envío al SAT

Respuesta recibida del SAT

Respuesta PONG !!

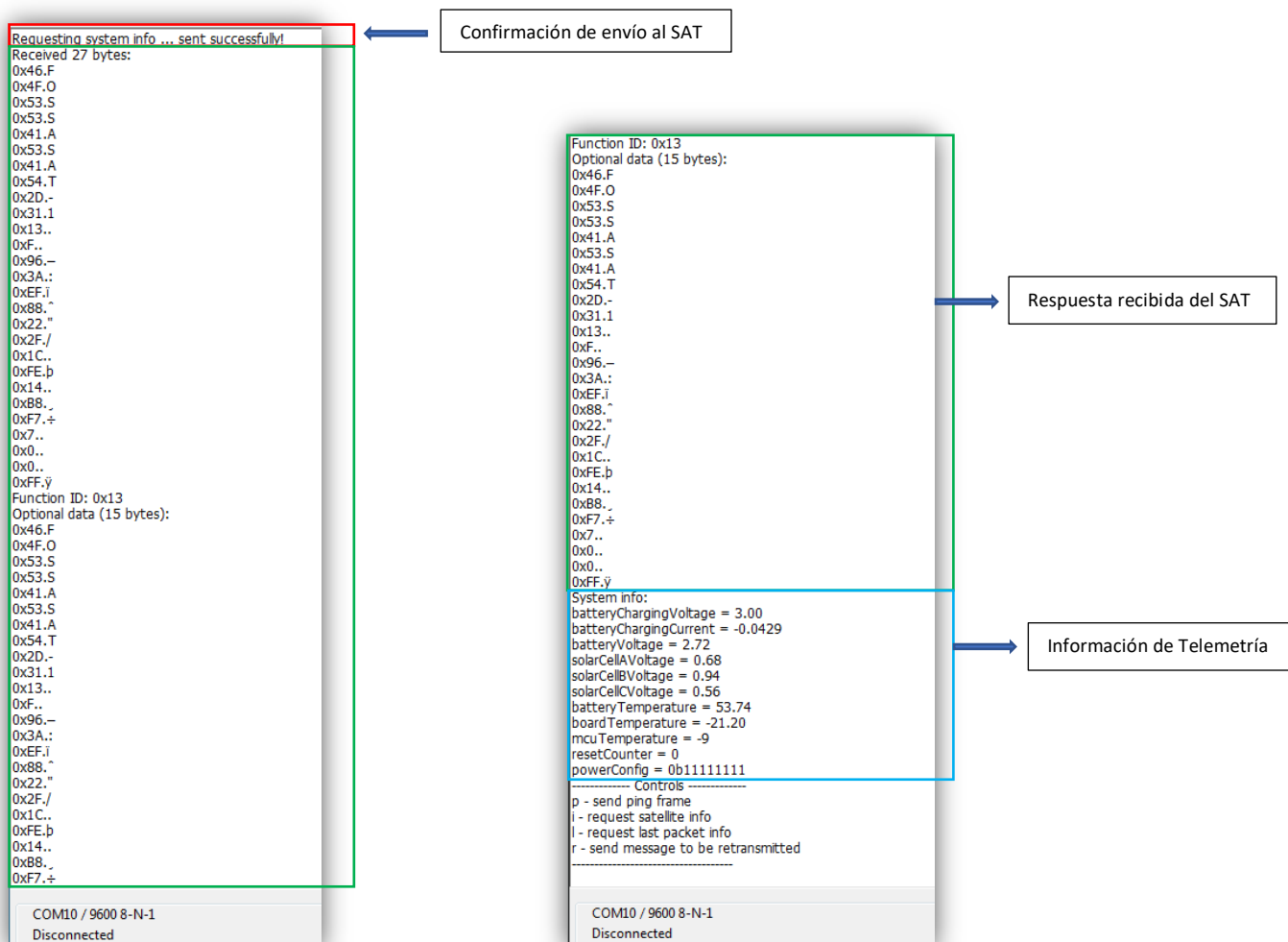
Envío de solicitud Información Ultimo Paquete Datos (l)

Confirmación de envío al SAT

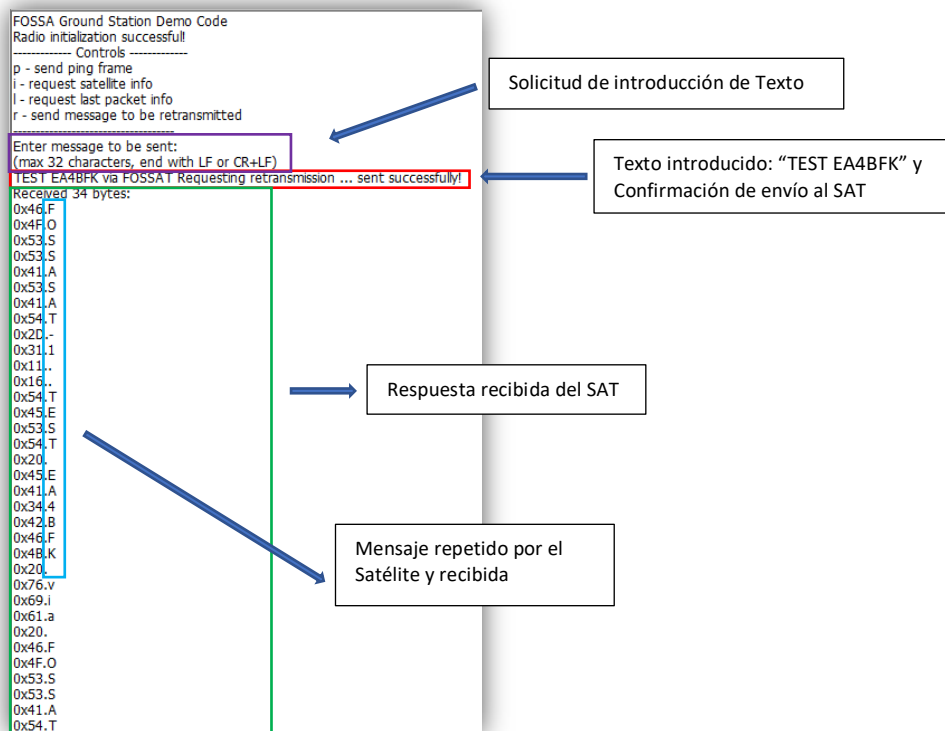
Respuesta recibida del SAT

Información Recibida

Envío de solicitud Información Telemetría (i)

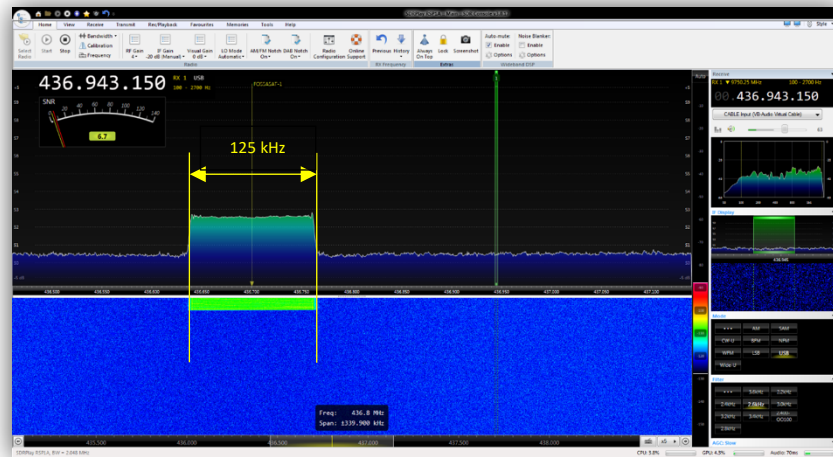


Envío de repetición de mensaje (r)



Para verificar que transmite la estación podemos monitorizar la frecuencia de 436,7 MHz con un walky y escuchar la portadora.

Alternativamente si tenemos un receptor SDR (RTL SDR, RSP1A, etc) podemos ver como es la señal cuando transmite, sintonizando la frecuencia 436,7 MHz



Todos los ejemplos anteriores se han realizado utilizando el montaje del Simulador de Satélite.

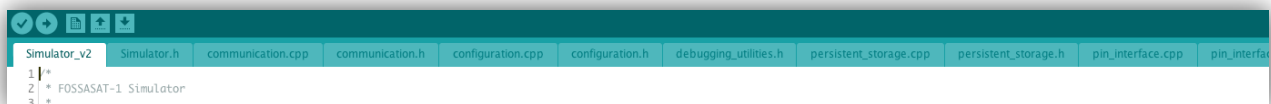
Simulador de Satélite

Para verificar que la estación receptora funciona, antes de que el satélite esté en orbita, podemos montar **otro circuito idéntico** al del Ground Station, y cargarle el software simulador que está en la pagina de FOSSASAT-1

<https://github.com/FOSSASystems/FOSSASAT-1/tree/master/Code>

Este código además de necesitar las librerías ya instaladas, incluye junto al *.ino una serie de librerías adicionales que deben copiarse también a la carpeta donde dejemos el *.ino para que se pueda compilar

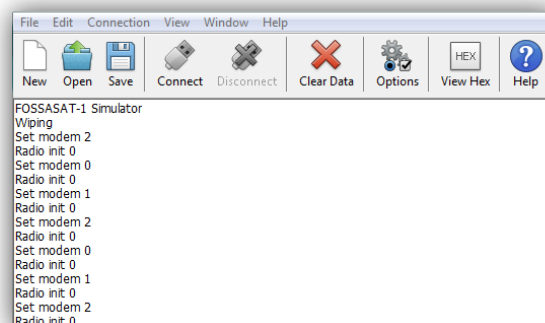
Una vez descargado el código del simulador y abierto el IDE de Arduino debe tener un aspecto como este:



Donde están tanto la pestaña del *.ino como el resto de las librerías.

Leer en detalle el *.ino por si fuera necesario hacer algún cambio, pero con el Modulo LoRa Sx1278 y el Pro Mini o Arduino UNO no hay que hacer ninguna modificación.

Se compila y cuando esté subido, abrimos de nuevo un programa terminal y al conectarnos veremos que la estación simuladora empieza a funcionar:



El programa simulador se inicia en Recepción, conmutando entre los 3 modems que tiene:
LoRa, LoRa ISM y FSK

Si en algún caso en lugar de *Radio init 0*, aparece códigos de error -2 o -16 en lugar de 0, significa que hay algún error en las conexiones entre el Modulo LoRa y el Arduino.

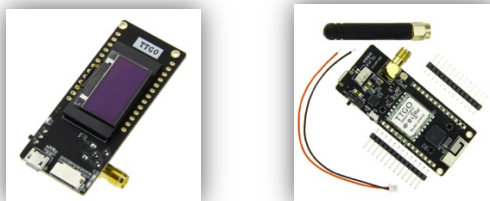
Periódicamente como cada 30 segundos aproximadamente transmite la telemetría en LoRa y en un espacio algo mayor transmite la baliza de RTTY, que se puede monitorizar con un receptor SSB, sintonizado en 436,700 MHz o con un receptor SDR.

Si se tienen ambas estaciones montadas, se puede observar que el terminal del Simulador recibe los comandos del Ground Station y como actúa enviando la respuesta.

Otras opciones de Ground Station

Placas TTGO

Una de las placas más utilizadas en la recepción de Radio Sondas meteorológicas en 400 MHz, es la placa LoRa TTGO ESP32 (<https://es.aliexpress.com/item/32915894264.html?spm=a2g0s.9042311.0.0.274263c0B17R3h>)



Estas placas con “todo en uno” incluyendo el Transceiver LoRa basado en SX1278, microcontrolador ESP32, WiFi y convertidor USB Serie.

La arquitectura del microcontrolador es distinta a la de Arduino, por lo que para cargar el software del Ground Station, se requiere tener instalada la librería **tiny-AES-c** que esta disponible en este enlace: <https://github.com/FOSSASystems/tiny-AES-c>

Como las conexiones del modulo LoRa con el ESP32, están definidas por el diseño de la placa hay que modificar ligeramente el código, pero este paso os lo podéis ahorrar, bajando el código de la Ground Station para TTGO que he puesto en mi Github:

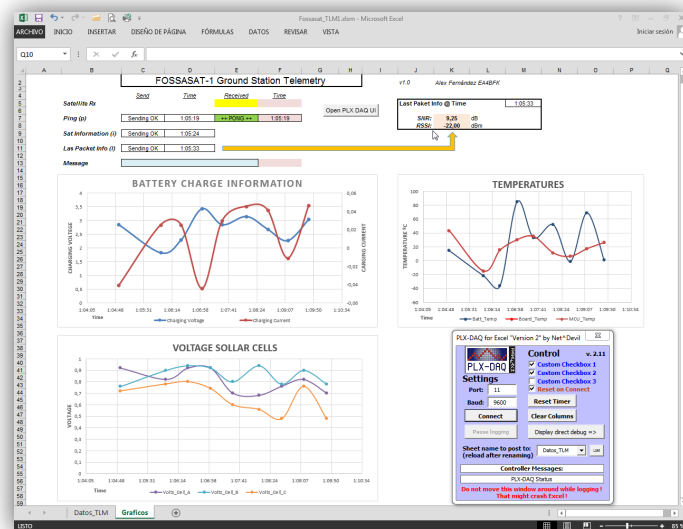
https://github.com/EA4BFK/FOSSASAT-1_PROJECTS/tree/master/Code_GS_TTGO

Esta es una aproximación sencilla que usa el puerto serie para comunicarse y no la pantalla OLED, pero seguro que pronto conoceremos más desarrollos.

Integración de Datos con Excel

La recepción usando un programa terminal es perfecta para realizar pruebas y ver que la estación funciona y que podemos recibir el satélite y mandarle los comandos, pero para hacer gráficos de la variación de los datos de telemetría, estoy trabajando en un código para el Arduino, que permite enviar los datos a una hoja Excel de forma que tengamos un Dashboard o Panel de Control de la estación.

El código correspondiente y la hoja Excel con el macro incluido, las subiré a github tan pronto acabe el manual de instalación y uso.



73's de Alex
EA4BFK