Instituto Nacional de Astrofísica, Optica y Electrónica.

LABORATORIO DE COMUNICACIONES
EN RADIOFRECUENCIAS Y FIBRA OPTICA

REPORTE TECNICO

RT621

Reporte del proyecto "Terminal Node Controller" (TNC) para el Nanosatélite ULISES 1

Autores:
Jacobo Meza Pérez
Celso Gutiérrez Martínez
J. Alfredo Torres Fórtiz
Adolfo Morales Díaz

Diciembre de 2015

©INAOE 2015
Derechos Reservados
El autor otorga al INAOE el permiso de reproducir y distribuir copias de este reporte técnico en su totalidad o en partes mencionando la fuente.

Instituto Nacional de Astrofísica Optica y Electrónica

Laboratorio de Comunicaciones en Radiofrecuencias y Fibra Optica

Reporte:

Reporte del proyecto “Terminal Node Controller” (TNC) para el Nanosatélite ULISES 1

Participan:

Jacobo Meza Pérez
Celso Gutiérrez Martínez
J. Alfredo Torres Fórtiz
Adolfo Morales Díaz

Fecha:

Noviembre de 2015

Palabras clave:

AFSK, AX.25, estación terrena, ICOM 9100, PIC, radio-aficionado, tranceptor, TNC, ULISES 1.

Descripción:

En este reporte se presenta la información involucrada en el desarrollo de un TNC para ser empleado en conjunto con un transmisor-receptor (transceptor) de radio-aficionado como base de la estación terrena que mantendrá contacto con el nanosatélite ULISES 1.

Detalles adicionales:

El código fuente original es proporcionado por Mike Berg (N0QBH).

Contenido

1Introducción....3
2Estación Terrena....4
2.1Antenas....5
2.2Radio o estación transmisora/receptora....6
2.3Estación de trabajo....7
2.4TNC....8
3Descripción del TNC....10
3.1Elementos electrónicos....10
3.2Sistema físico....11
4Operación....13
5Conclusiones....16

1 Introducción

ULISES 1 es un nanosatélite con un propósito de corte cultural al emplear el espacio exterior terrestre como medio de divulgación de un conjunto de composiciones sonoras originales. Para escuchar a ULISES 1 se requiere un radio para la banda de radio-aficionados en la banda de 430 MHz; en México la banda permitida es desde 433 MHz hasta 440 MHz[1].

El satélite cumple su propósito al emitir las composiciones sonoras en la frecuencia de 437.400 MHz con una modulación de FM. Sin embargo, también es necesario conocer el estado de salud de los sistemas que conforman a ULISES 1, o parte de ellos. Para ello se requiere realizar envío de datos con la información pertinente, lo cual es llevado a cabo al emplear el formato de comunicación AX.25, que es una implementación del protocolo X.25 en ***Audio***, por ello el agregado de la "**A**".

El protocolo AX.25 emplea el mismo ancho de banda que se emplea en la transmisión de audio, por lo que el radio cumple también con la función de recibir los datos que son emitidos por ULISES 1, pero se requiere un sistema adicional que permita la recuperación de la información al descodificar el protocolo AX.25. Esta función es justamente la que realiza un sistema llamado "Terminal Node Controller" o TNC; de manera simplificada.

El presente reporte da cuenta de los elementos necesarios para desarrollar este elemento que será importante en la obtención de datos que dan indicio sobre el funcionamiento en ULISES 1.

1 Información de CNAF: Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias emitido por la Comisión Federal de Telecomunicaciones (2007).

2 Estación Terrena

Antes de describir el desarrollo del TNC es necesario comprender su función y posición dentro de la estación terrena. La figura 1 muestra un esquema de un tipo de estación terrena básica basada en un radio de aficionado. Los satélites pueden emplear una o más bandas para comunicarse, es habitual emplear una banda de frecuencia baja para emitir hacía al satélite y emplear una frecuencia más alta para recibir la señal que proviene del satélite. Pero también puede emplease la misma banda, como en el caso de ULISES 1, para realizar ambas funciones; transmitir y recibir.

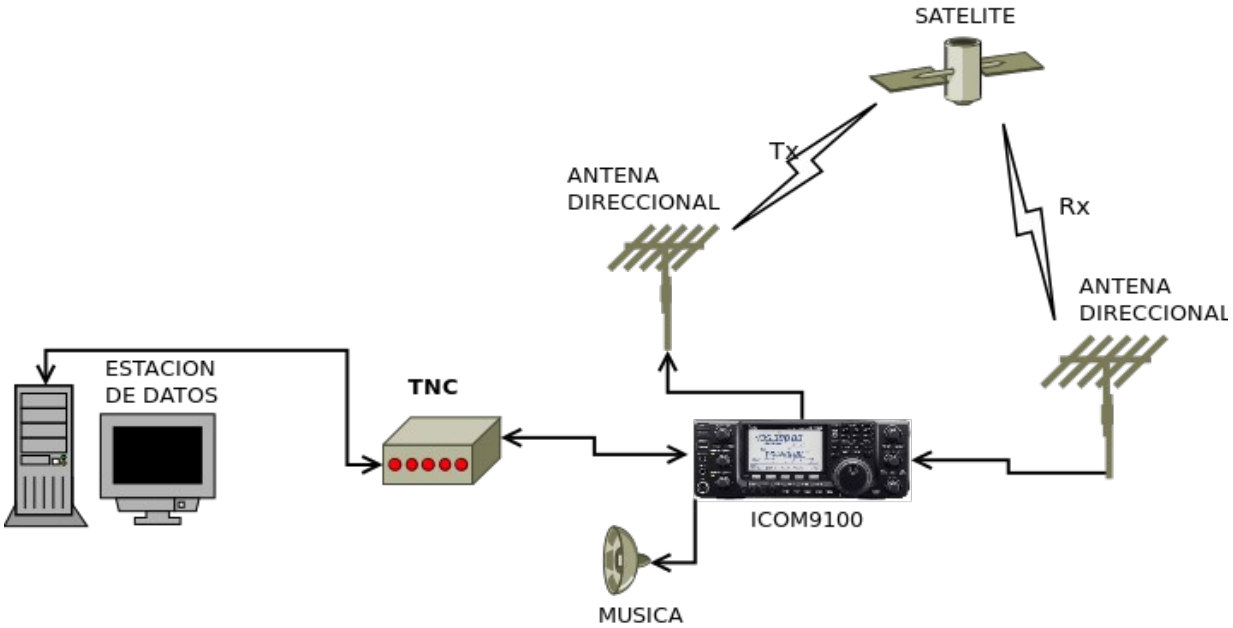


Figura 1: Estación terrena basada en radio del tipo radio-aficionado.

Un radio de doble banda es ideal para cuando se realiza la función de comunicación con dos bandas diferentes. Pero también será necesario considerar un radio que permita un control de ajuste de frecuencias para compensar el efecto Doppler, dada la distancia y la movilidad entre el satélite y la estación terrena.

El radio recibe la señal que proviene del satélite y realiza la demodulación de la señal a señal audible. La información que corresponde a las tramas sonoras se escucha mediante la bocina del radio o bocinas exteriores que son conectadas al radio. También se escuchará la señal de datos como una secuencia de sonidos sin ningún sentido musical.

Se obtiene la salida de audio del radio y se alimenta al dispositivo TNC, el cual recibe la señal auditiva y cuando la señal que corresponde a los datos se recibe cumple con la

función que se plantea, obtener datos en un formato que es compatible con una computadora convencional. Vía el medio de comunicación por cable RS232 se comunica la información desglosada que proviene de ULISES 1 a una estación de datos, o de trabajo; según la aplicación, por la cual también es posible el envío de ordenes a ULISES 1.

Las ordenes que se envían a ULISES 1 son pueden ser de alguno de los siguientes tipos:

- **Solicitudes de información**: para obtener mayores detalles de lo subsistemas de abordo.
- **Ejecución de tramas musicales**: para indicar a ULISES 1 que debe realizar la reproducción de una trama determinada.
- **Cambio de parámetros**: es posible realizar algunos cambios de parámetros que modifican el comportamiento de ULISES 1 de manera temporal o a solicitud.

Finalmente, en la computadora se pueden realizar funciones adicionales que son requeridas en la comunicación con el satélite, por mencionar alguna de ellas:

- Guardar la información que se recibe del satélite.
- Calcular el apuntamiento de las antenas de comunicación, en base a un modelo de simulación sobre el comportamiento de dinámica orbital.
- Calcular las efemérides para los pasos del satélite, con un programa similar al punto anterior y actualizado con bases de datos internacionales que dedican su función al rastreo de objetos espaciales.
- Comunicación vía internet con usuarios interesados en el seguimiento de ULISES 1, es decir, servicios de portal a internet.

Para terminar esta sección se dará una breve explicación de cada parte que conforma a la estación terrena.

2.1 Antenas

Dentro del sistema de antenas se considera a la antena misma, al sistema de motores, engranajes y monturas sobre las que se instala a la antena, que en conjunto se denomina sistema de seguimiento. El sistema de seguimiento tiene por función obtener la máxima eficiencia de comunicación entre el satélite y la estación terrena. El sistema de seguimiento es un mecanismo que debe apuntar el eje de la antena hacía el punto donde se localiza el satélite, en la mayor probabilidad posible, y mantener un movimiento continuo sobre los puntos, que se calcularon previamente, donde se localiza el satélite con el paso del tiempo.

El sistema de seguimiento requiere un mecanismo de dos grados de libertad, el sistema es conocido como alt-azimutal, donde una de los movimientos es angular sobre el horizonte (Acimut) y el otro movimiento es de elevación angular desde el horizonte hasta el cenit (Elevación).

La figura 2 muestra un sistema de antenas alt-azimutal con dos antenas tipo Yagi.

Figura 2: Sistema de seguimiento con antenas tipo Yagi multielemento.

Las antenas que más ampliamente son usadas en los sistemas de seguimiento son las antenas tipo Yagi. Las antenas Yagi pueden ser diseñadas para obtener altas ganancias y ángulos de directividad bastante estrechos, lo que las hace ideales para rechazar señales fuera del ángulo de "visión" y la alta ganancia permite emplear menos potencia de transmisión, también es más "receptiva" a las señales que se reciben en la dirección preferente.

2.2 Radio o estación transmisora/receptora

Una radio de aficionado puede cumplir con las funciones de transmisión o recepción se señales, por lo que comúnmente se le otorga el mote de tranceptor[2]. Los radios pueden trabajar en una o más bandas, las cuales son reguladas por cada país y por un órgano internacional (ITU[3]), con restricción de uso bajo licencia que otorga cada país.

2 Tranceptor es una composición de las palabras **Tran**smisor/Re**ceptor**.

3 http://www.itu.int/es/Pages/default.aspx. La UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) es el organismo especializado de las Naciones Unidas para las tecnologías de la información y la comunicación – TIC

El tranceptor que se emplea en la estación terrena para ULISES 1 es un radio del fabricante **ICOM** cuyo modelo el **IC-9100** ha sido seleccionado para desempeñar la función de recibir y transmitir las señales en la frecuencia de 437.400 MHz, dentro de la banda de 430 MHz. El radio tiene capacidad de transmitir hasta una potencia de 75 Watts dentro de la banda, además, tiene un sistema de doble banda que permite operar en dos bandas diferentes al mismo tiempo. Pero la característica más destacable es que permite una funcionalidad para realizar la compensación del efecto Doppler en las comunicaciones satelitales.

La figura 3 muestra la parte frontal del radio, donde la entrada de micrófono es conectada al TNC para introducir las señales que serán emitidas hacía el satélite. En la parte posterior cuenta con las conexiones necesarias para conectar las antenas, pero también cuenta con los conectores para obtener la señal de audio para cada banda en operación.

Figura 3: Parte frontal del radio ICOM IC-9100.

2.3 Estación de trabajo

La estación de trabajo es una computadora robusta que permita la operación de una versión *Windows Seven* o superior, debe contar con puertos de tipo serie RS232 o bien con puertos USB para conectar interfaces USB-RS232. Se recomienda una computadora con procesadores de tercera generación en adelante y una capacidad gráfica con robustez suficiente para despliegue de gráficos en 3D. Los paquetes computacionales libres que permiten calcular las efemérides y modelar la dinámica orbital requieren de grandes cantidades de memoria y capacidades de computo que permitan los cálculos en tiempo real. La recomendación mínima es:

1. Procesador Pentium Dual Core a 2 GHz
2. Memoria RAM de 2 Gbytes
3. Windows Seven o última versión de Windows Vista
4. Disco Duro de 500 Mbytes
5. Tarjeta de Gráficos con capacidad 3D y 1 Gbyte de RAM para dos monitores
6. Puertos USB o RS232
7. Dos monitores

Para la recomendación óptima se plantea lo siguiente:

1. Procesador Intel Core i5 o equivalente

2. Memoria RAM de 4 Gbytes
3. Windows 8 o última versión de Windows Seven
4. Disco duro de 500 Mbytes
5. Tarjeta de aceleración de gráficos en 3D y 2 Gbytes de RAM para dos monitores
6. Puertos USB
7. Dos monitores

El sistema debe contar con una conexión a internet para el seguimiento a distancia y para la colocación de datos en un portal sobre el estado actual de la comunicación con ULISES 1.

2.4 TNC

El protocolo AX.25 basa su modulación de datos en el formato de modulación digital FSK, pero a diferencia de los sistemas FSK que generan dos señales de frecuencia diferente alrededor de la portadora, o la portadora más otro tono cercano a la portadora, la forma de modulación en AX.25 es dentro del ancho de banda de audio. A este formato se le conoce como AFSK y se emplea en la mayoría de los sistemas de comunicación tipo “packet radio”.

La señal AFSK tiene dos valores, uno es denominado **marca** y el otro **espacio**, que pueden referir a un *uno lógico* y *cero lógico* en el código de bit NRZ. La frecuencia que se asigna depende de diferentes aspectos relacionados con la optimización del ancho de banda, pero en el sistema que es empleado en ULISES 1 se emplean las frecuencias que se muestran en la tabla 1.

Tabla 1: Frecuencias de la señal AFSK.

	Marca	Espacio
Frecuencia en audio (Hz)	1200	2200

La señal AFSK puede ser inyectada directamente al tranceptor mediante el conector de micrófono o entrada auxiliar, por lo que es una señal totalmente compatible con todos los sistemas de radioaficionado.

El diagrama a bloques de la figura 4 muestra las conexiones requeridas entre los sistemas de la estación terrena y los tipos de señales que se requieren. Las señales entre el radio y el TNC son de audio en formato AFSK, tanto para transmisión como para recepción. La señal que entra al radio vía la entrada de micrófono no debe ser mayor a 0.5 Vp-p (0.25 Vrms) o emplear el nivel recomendado de 0.4 Vp-p (0.2 Vrms)[4], que es el empleado en el TNC actual.

4 ICOM: Instruction Manual Tranceiver IC-9100. Página 173.

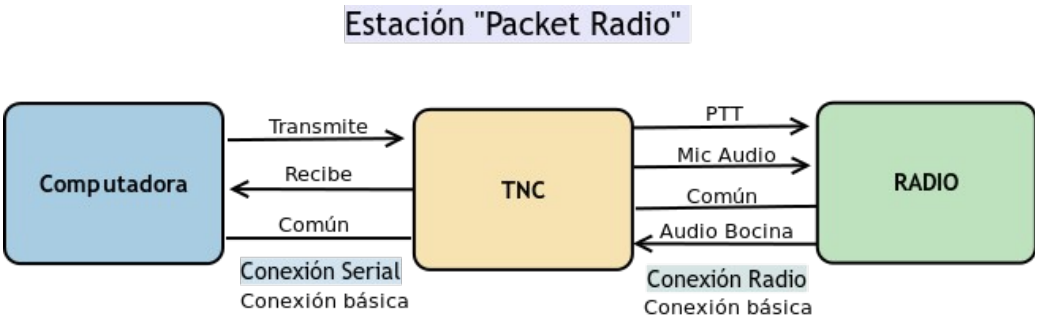


Figura 4: Esquema a bloques de conexión en la estación terrena.

La señal de comunicación entre el TNC y la computadora es RS232 a 9600 baudios, 8 bits, 1 bit de paro, sin bit de paridad y sin sincronía.

Es necesario considerar que la transmisión de la señal AFSK es a una razón de 1200 baudios, que al agregar el encapsulado del protocolo se reduce la eficiencia de transmisión de datos ("Throughput"). Por lo que el envío de datos desde la computadora se limita a almacenar 150 bytes, como máximo, que son procesados y al finalizar se dispone el sistema a recibir otra cantidad de bytes. Los bytes que llegan después de que se satura la cola del TNC son ignorados y se pierden.

En conclusión, el TNC cumple con la función de interpretar aquellas tramas sonoras que identifica como datos. A las otras tramas que son audio de las composiciones musicales les hará caso omiso. De esta manera es posible interactuar con ULISES 1 aprovechando el poco ancho de banda que se permite emplear en las comunicaciones para radio-aficionados.

3 Descripción del TNC

El TNC es un dispositivo que permite interpretar la información que proviene de una comunicación satelital cuando se emplea un canal que solo permite transmitir sonido, es decir, limitado a un ancho de banda de 25 KHz. Por lo que es común que se comparta el mismo canal para realizar comunicaciones de audio y transmitir datos a tasas muy bajas. Es por ello que debe contar con los elementos que permitan recibir y decodificar la señal audible que proviene del radio. Así como también cuenta con la capacidad de codificar la información en el formato que pueda interpretar el satélite. El diagrama de la figura 5 muestra el diagrama a bloques de la configuración interna del TNC.

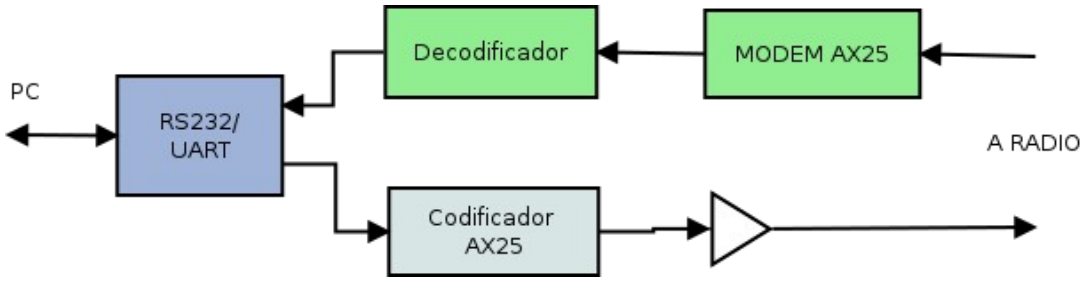


Figura5: Diagrama a bloques del TNC.

3.1 Elementos electrónicos

El sistema electrónico que se ha implementado conforme al diagrama de la figura 5, contiene inicialmente un sistema de conversión RS232, para realizar las comunicaciones con una computadora. Para la implementación de los sistemas de codificación y decodificación se emplean dos microcontroladores de la gama media de la empresa MICROCHIP, el **PIC16F827P** y **PIC16F828P**, adicionalmente, para el decodificador se emplea un circuito integrado de propósito especifico, el MX614, que es un *modem* para protocolo AX.25, el cual se emplea para detectar las tramas de audio para generar los pulsos de las tramas de información que detecta, los cuales son alimentados al PIC para ser interpretados para una comunicación UART.

En el sistema de codificación se implementa un sistema de adaptación electrónico que permite regular los niveles de salida que deben llegar a la siguiente etapa, que es el radio.

El sistema requiere una alimentación de 5.0 Vdc, los cuales son proporcionados por un sistema de regulación que se integra a la tarjeta del TNC.

3.2 Sistema físico

En conjunto, el TNC requiere 4 conexiones; una es vía rs232 a la estación de trabajo, otra es para el convertidor de potencias AC/DC (120/12), que es la alimentación, más otras dos al radio: una para el conector redondo de 8 patillas del micrófono y PTT ("Push To Talk"), más otra que es la salida de audio del radio al TNC.

El circuito es alojado en una caja metálica de aluminio para proyectos con conectores al exterior. Los conectores que se emplean son los siguientes:

- Conector DB9 para comunicación RS232.
- Conector de alimentación jack invertido de 2.1mm para chasis.
- Conector jack estéreo de 3.5 mm para chasis.
- Conector redondo para micrófono de 8 patillas.

La figura 6 muestra dos fotos del TNC terminado y conectado.

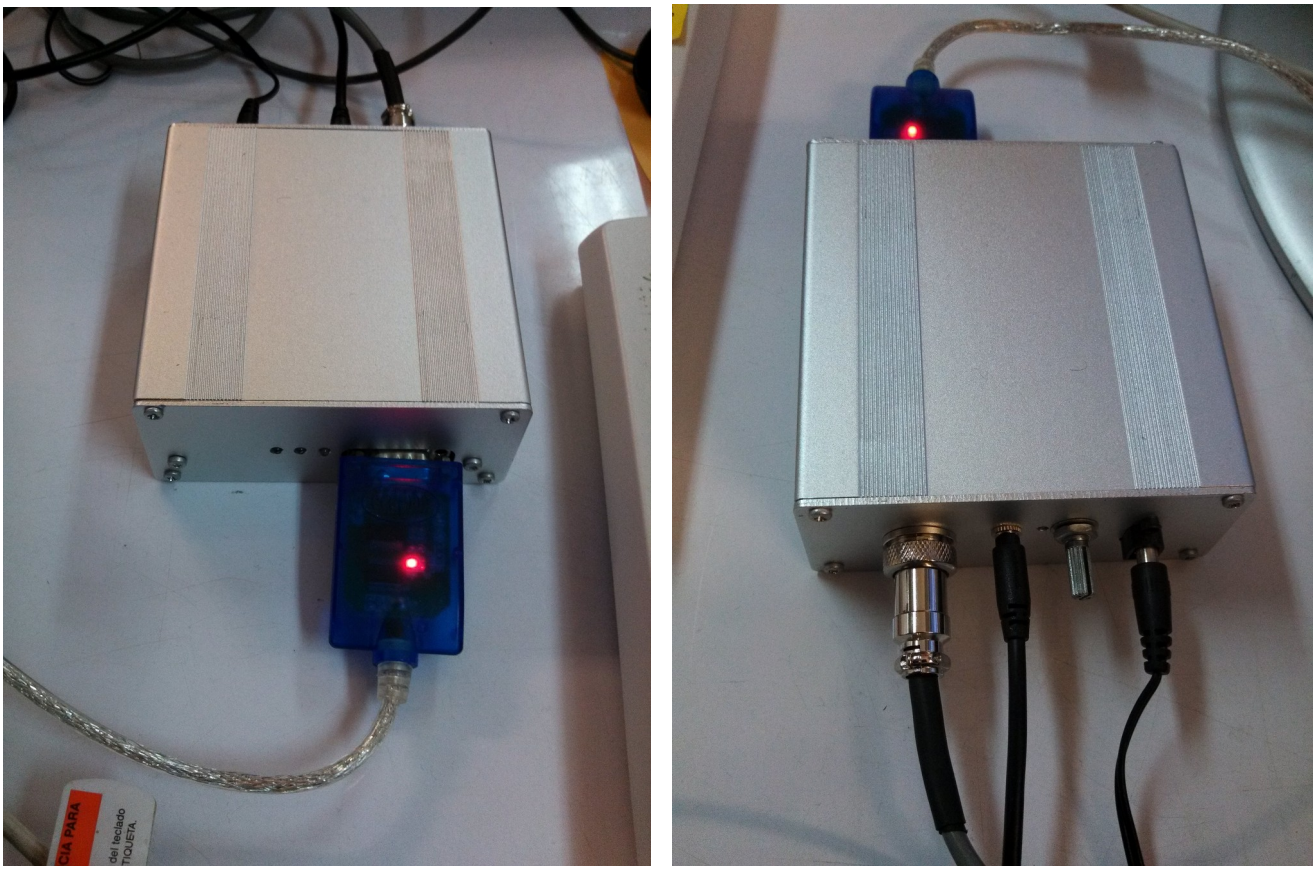


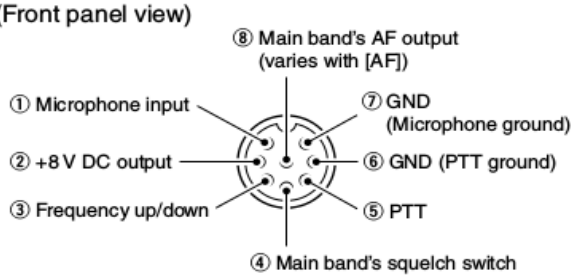
Figura 6: Fotos del TNC terminado.

La figura 7 muestra las conexiones de la tarjeta de circuito impreso al conector redondo

de 8 patillas, que es el cable que conecta con la entrada de micrófono en el radio ICOM IC-9100. En la misma figura se detallan las funciones de cada patilla.

■ Microphone connector information

(Front panel view)



[MIC] Pin No.	FUNCTION	DESCRIPTION
②	+8 V DC output	Max. 10 mA
③	Frequency up	Ground
	Frequency down	Ground through 470 Ω
④	Squelch open	"Low" level
	Squelch closed	"High" level

CAUTION: DO NOT short pin 2 to ground as this can damage the internal 8 V regulator. DC voltage is applied to pin 1 for microphone operation. Use caution when using a non-Icom microphone.

Figura 7: Información del conector para micrófono en el radio ICOM IC-9100.

Finalmente, se construye un cable recto (conexión uno a uno) para el conector redondo de 8 patillas, con los respectivos conectores para cable, para conectar el TNC al radio. Se adquiere un cable de audio con conectores 'plug' de 3.5 mm para audio en estéreo, en ambos extremos; para conectar la salida de audio del radio al conector de audio de entrada en el TNC.

4 Operación

El sistema es llamado en el ámbito de los radio-aficionados como una terminal tonta, puesto que no realiza acciones o proporciona algún tipo de respuesta, su función es simplemente codificar los datos que le son enviados vía RS-232 a un formato AFSK. E inversamente, la señal que proviene del radio entra al TNC, si en ella detecta algo que sea parecido a una trama tipo AFSK, entonces reconfigura los pulsos a niveles TTL.

Para realizar una comunicación con el TNC se requiere de una aplicación especifica para comunicaciones vía puerto serie, como lo es TERMIE 1.0, de libre acceso. Cuando el TNC decodifica datos que provienen de ULISES 1 se muestran en la siguiente forma:

```
ULISES>TNC:ULISES1.MX: XE1SPT

ULISES>TNC:*:CH     (mA):     0:0.000|1:0.000|2:0.000|3:0.000|4:0.000|
5:0.000|6:0.000|7:0.427|VBAT(V):3.915:#

ULISES>TNC:$:28.86, 536, 0.03, 260, 0.02, 16064, 0.98, -128, -0.98,
21, 0.16, -2, -0.02:#

ULISES>TNC:%:30.50:#

ULISES>TNC:Reception mode for 30 secs...
```

donde:
ULISES>TNC: Es el identificador del generador de la trama (ULISES) y el identificador a quien va dirigido (TNC).
ULISES1.MX: XE1SPT: Nombre del satélite y número de licencia del radioaficionado responsable.

Posterior a ello se obtiene información de la telemetría que proporciona el satélite para determinar el estado de operatividad del mismo. Finalmente, se muestra un mensaje que indica que el satélite se encontrará en modo de recepción por una cierta cantidad de segundos.

Una sesión en que se realizan diferentes solicitudes se muestra a continuación:

```
ULISES>TNC:ULISES1.MX: XE1SPT

ULISES>TNC:*:CH    (mA):    0:0.000|1:0.000|2:0.000|3:0.000|4:0.000|5:0.000|6:0.000|
7:0.427|VBAT(V):3.915:#

ULISES>TNC:$:28.86, 536, 0.03, 260, 0.02, 16064, 0.98, -128, -0.98, 21, 0.16, -2,
-0.02:#
```

```
ULISES>TNC:%:30.50:#

ULISES>TNC:Reception mode for 30 secs…
```

```
tele1|tele2|tele3|sw:track 4
```

```
ULISES>TNC:*:CH    (mA):    0:0.000|1:0.000|2:0.000|3:0.000|4:0.000|5:0.000|6:0.000|
7:0.427|VBAT(V):3.915:#

ULISES>TNC:$:28.86, 536, 0.03, 260, 0.02, 16064, 0.98, -128, -0.98, 21, 0.16, -2,
-0.02:#

ULISES>TNC:%:30.50:#

ULISES>TNC:*:CH    (mA):    0:0.000|1:0.000|2:0.000|3:0.000|4:0.000|5:0.000|6:0.000|
7:0.427|VBAT(V):3.651:#

ULISES>TNC:$:28.86, 536, 0.03, 260, 0.02, 16064, 0.98, -128, -0.98, 21, 0.16, -2,
-0.02:#

ULISES>TNC:%:30.50:#

ULISES>TNC:+:NP:11,Tm:1,POT:255,VOL:100:#
```

La parte resaltada en azul son emisiones del satélite y la resaltada en naranja es una orden emitida desde la estación terrena. Los detalles de la información se pueden encontrar en el reporte técnico sobre la tarjeta de computadora de control (INAOE/RT619).

Para mostrar que el TNC recibe tanto audio como información, en la figura 8 se muestra un audiograma que contiene una trama de la emisión de ULISES 1.

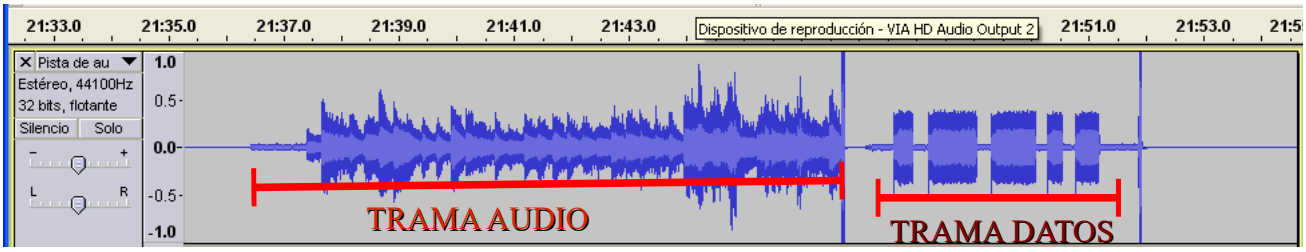


Figura 8: Audiograma de la señal que emite ULISES 1.

Adicionalmente, se ha comprobado que las tramas de datos se mantengan en el rango de distinción de las marcas que son interpretadas como datos. Para ello se analiza solo la trama de audio en el espacio de las frecuencias para confirmar las marcas. La figura 9 muestra una gráfica de un analizador de espectros midiendo la trama de datos.

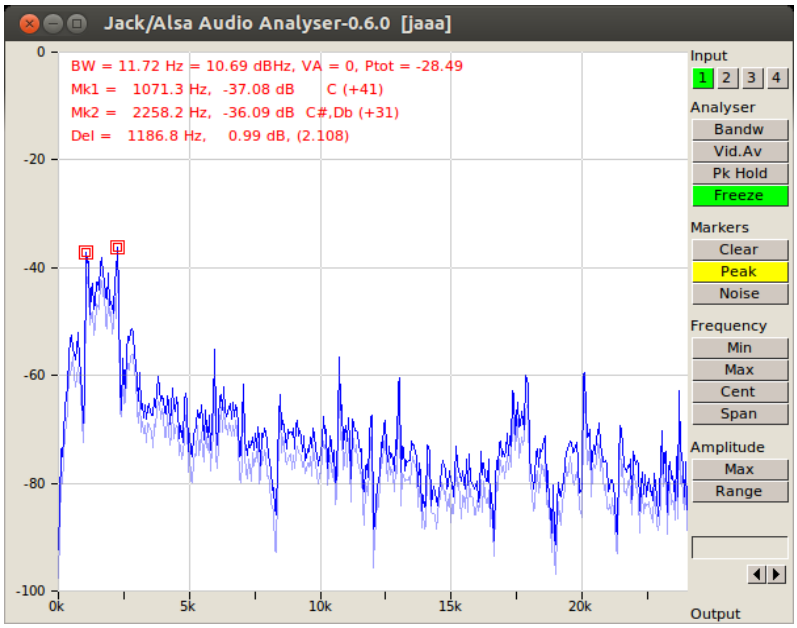


Figura 9: Medición en analizador de espectros de una trama de datos.

Finalmente, es necesario mencionar que los errores en la detección de datos generan una pérdida cercana al 5% de la información. El sistema que se ha implementado no contiene un corrector de errores y tampoco se ha configurado como un sistema de respuestas, es decir, si no ha detectado un dato no se vuelve a solicitar.

El TNC ha sido concebido para generar un sistema de intercambio de información muy básico, pero no se ha considerado robustecerlo para generar un sistema de comunicación confiable y seguro, puesto que cualquier otro escucha que tenga un esquema similar puede escuchar toda la conversación que se mantiene entre el satélite y la estación terrena.

5 Conclusiones

Las pruebas finales que se realizan con el TNC son similares a las realizadas con la tarjeta de control de ULISES 1. Pero al realizar la conexión al radio debe prevenirse que los niveles de salida en el micrófono sean las recomendadas en el documento. La prueba final es cuando se realiza una comunicación con ULISES esperando la decodificación de los datos que llegan. Para realizar la prueba de transmisión se envían ordenes al satélite, cuando el satélite da la respuesta esperada se comprueba que la transmisión ha resultado exitosa.

El TNC funciona sin más requerimientos que ajustar la señal de audio de entrada a niveles que permitan decodificar la señal de llegada, no es la misma situación con la señal que llega al radio desde el TNC, una vez ajustada, solo es necesario regular la potencia de transmisión en el radio mismo.

El TNC ha funcionado con transmisiones al nanosatélite ULISES 1 de manera inalámbrica hasta 20 kilómetros de distancia en un ambiente con pocos obstáculos. Conforme la distancia se prolonga se hace totalmente necesaria una *linea de vista* para poder mantener la comunicación.

El TNC no requiere de ser probado en ambientes similares al espacio exterior, puesto que forma parte de la estación terrena y se espera que siempre deberá operarse a condiciones de medio ambiente cerrado.

Finalmente, el TNC ha sido diseñado para ser fácilmente manipulado al realizar las conexiones, solo se requieren los cables que llevan conectores uno a uno, es decir, no es posible equivocar la posición ni la orientación del conector.