UNIVERSIDAD DISTRITAL
“FRANCISCO JOSE DE CALDAS”

TRABAJO FINAL
MAESTRIA EN TELECOMUNICACIONES MOVILES

IMPLEMENTACION DE UNA INTERFACE DE RADIO DEFINIDA POR SOFTWARE SDR PARA SEGUIMIENTO DE PEQUEÑOS SATÉLITES.

Autor
LUZ MARLENNY CANO ROMERO

Director
ROBERTO FERRO ESCOBAR

Bogotá 2021

Nota de aceptación

_____

_____

_____

_____

Firma del director del Proyecto

Firma del Revisor del Proyecto

Bogotá, 19 de noviembre de 2021

Resumen

Los sistemas de telecomunicaciones han evolucionado mucho durante los últimos años. En la década de los 70´s y los 80´s se produjo una revolución muy importante. Los sistemas de radio pasaron de analógicos a digitales usando la tecnología basada hardware y electrónica, desde el control de fuente como en la etapa de codificación del canal [1]. A principio del año 2000, inicio una nueva revolución importante que integra mediante el uso de electrónica embebida y aplicaciones de software que se conoce como Radio Definida por Software (SDR), este gran avance evita que se tenga que construir diferentes módulos de electrónica y que los mismos tengan que integrarse mediante cables conectores y demás elementos electrónicos, ahora todo se encuentra concentrado en un solo dispositivo y lo único que debe hacer es modificar el software y ponerse en función de la tarea que se quiere realizar [2], debido a lo anterior se propone el uso de una interface de radio que permite implementar rápidamente un transceptor que permita captar las señales provenientes de un satélite en órbita LEO, de esta forma se contribuye a crear sistemas simples de recepción satelital que pueden implementarse en Colegios, Universidades y centros de investigación en nuestro país.

PALABRAS CLAVE: *SDR, UHF, VHF, CANSAT, SOFTWARE, SEGUIMIENTO, OPEN HARDWARE.*

Abstract

Telecommunications systems have evolved a lot during the last years. In the decade of the 70's and 80's there was a very important revolution. The radio systems went from analog to digital using hardware and electronic based technology, from the source control to the coding stage of the channel [1]. At the beginning of the year 2000, a new important revolution began which integrates through the use of embedded electronics and software applications known as Radio Defined by Software (SDR), this breakthrough avoids the need to build different electronics modules and that they have to be integrated by means of connecting cables and other electronic elements, now everything is concentrated in a single device and the only thing that must be done is to modify the software and to put it in function of the task to be carried out [2], due to the The use of a radio interface that allows the rapid implementation of a transceiver that allows capturing the signals coming from a satellite in LEO orbit is proposed, in this way it contributes to create simple satellite reception systems that can be implemented in schools, universities and centers of research in our country.

KEYWORDS: SDR, Small Satellites, Software, tracking, Open Hardware.

Agradecimientos

La autora expresa sus agradecimientos a:

En primer lugar, doy gracias a Dios, ya que, sin su fortaleza e iluminación, este trabajo no se hubiese podido realizar, a mi familia por su invaluable apoyo, a mis colegas y amigos por sus aportes a nivel personal y técnico.

Tabla de contenido:

Resumen 3

Abstract 5

INTRODUCCIÓN: 11

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 13

1.2 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN 13

1.3 SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA 14

1.4 OBJETIVOS 14

1.4.1 OBJETIVO GENERAL 14

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 14

1.5 JUSTIFICACIÓN 15

1.6 HIPÓTESIS 15

1.7 ALCANCES Y LIMITACIONES 15

1.7.1 Limitaciones 16

1.7.2 Alcance 16

1.8 METODOLOGÍA 17

1.8.1 Tipo de investigación 17

1.8.2 Metodología 17

1.9 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN 18

1.10 ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO **¡Error! Marcador no definido.**

PARTE II FUNDAMENTACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN 19

CAPITULO 2 MARCO TEORICO 19

2.1 PEQUEÑOS SATÉLITES 19

2.1.2 PICO SATELITES, FEMTO SATELITES Y CANSAT 24

2.2 ESTUDIO DE ÓRBITAS Y FUNCIONES DE LOS SATELITES 33

2.2.1 ÓRBITA LEO (Órbita terrestre baja) (15) 35

2.2.2 ORBITRON 39

2.2.3 GNU RADIO 47

PARTE III 53

CAPITULO 3 PROPUESTA DESARROLLADA 53

CAPÍTULO 4 RESULTADOS 59

CAPÍTULO 5 TRABAJO A FUTURO: 72

Bibliografía 74

Tabla de ilustraciones:

Figura 1. Evolución de las comunicaciones hasta la comercialización masiva de SDR 14

Figura 2. Arquitectura del proyecto SpeakEasy 15

Figura 3. Clasificación de las áreas de interés de los pequeños satélites según Spaceworks 25

Figura 4. Clasificación de satélites según la FAA (Administración Federal de Aviación) 26

Figura 5. Entre el año 2014 al 2018 cerca de 300 satélites fueron lanzados al espacio 28

Figura 6. Reporte del satélite colombiano FACSat-1 en la UNOOSA 29

Figura 7. NextGen de sensores y PCB para Femtosatélites 32

Figura 8. Componentes de un sistema microelectromecánico (MEMS) 33

Figura 9. Principales componentes de un Femtosatélite WikiSat 35

Figura 10. Estructura P-POD de un cubesat o pico satélite 39

Figura 11. Capas de la atmosfera 41

Figura 12. Órbitas MEO, LEO, GEO y HEO 42

Figura 13. Escombros y basura espacial alrededor de la tierra en WebGL 45

Figura 14. Software Orbitron en su última versión 50

Figura 15. Vista principal de Orbitron 51

Figura 16. Submenú para elegir ubicación 52

Figura 17. Radar encendido en Orbitron 52

Figura 18. Ventada de carga de las predicciones 53

Figura 19. Predicciones para los satélites 54

Figura 20. Pantalla de inicio GNU Radio en Linux 57

Figura 21. Representación gráfica del grafo para una implementación en GNU 58

Figura 22. Lista de dispositivos desarrollador para uso de SDR 60

Figura 23. Datos y frecuencias usados por NOAA 15 66

Figura 24. Datos y frecuencias usados por NOAA 18 66

Figura 25. Datos y frecuencias usados por NOAA 19 67

Figura 26. Seguimiento de satélites en Gpredcit 67

Figura 27.1. Capturas de la aplicación desarrollada en funcionamiento 68

Figura 27.2. Capturas de la aplicación desarrollada en funcionamiento 69

Figura 28. Resultado de la ejecución para BEESAT-1 70

Figura 29. Resultado de la ejecución para SOMP-2B 70

Figura 30. Resultado de la ejecución para STRAND-1 71

Figura 31. Resultado de la ejecución para NOAA18 71

Figura 32. Resultado de la ejecución para AUUSAT-4 71

INTRODUCCIÓN:

El desarrollo de tecnología espacial ya no es un tema de las grandes potencias o países desarrollados, gracias a iniciativas como el estándar Cubesat desarrollado por la universidad de Cal Poly y la Universidad de Stanford hoy en día es posible acceder y crear tecnología aeroespacial para toda la comunidad académica y que desarrolla investigación aplicada de esta forma es posible integrar y desarrollar múltiples aplicaciones de hardware, electrónica, software, gestión de proyectos y la integración de otros campos del conocimiento; este proyecto pretende crear las bases sólidas para crear un transceptor que permita ser integrado a una antena para seguimiento de un pequeño satélite experimental que para el caso en particular será un Cansat como elemento fundamental para la comprensión que permita conocer las partes, el funcionamiento y las aplicaciones que pueden ser desarrolladas en estos pequeños dispositivos; una vez desarrollada la parte que tiene que ver con el seguimiento y control es posible integrarlo con otros subsistemas inherentes a una misión satelital.

La Radio definida por Software fue descrito por Joe Mitola en 1.991 para referirse a un tipo de radios reprogramables o reconfigurables [3]. La idea fundamental es usar una tarjeta de hardware que pueda ser reconfigurable mediante cambios de su software y de esta forma se pueden realizar múltiples aplicaciones, debido a esto se desarrolló el grupo de estandarización IEEE 802.21, un ejemplo típico de una SDR son los teléfonos celulares inteligentes ya que los mismos pueden alojar múltiples aplicaciones de software que pueden interactuar con la electrónica inmersa en los mismos como el Bluetooth, Wi-Fi, NFC, la televisión integrada y más aspectos en constante desarrollo. El primer dispositivo inalámbrico de SDR fue desarrollado por el ejército de estados unidos el cual usaba una FPGA que podía trabajaba en una banda de frecuencias 2 MHz hasta los 200 MHz, este proyecto se denominó SpeakEasy [4].

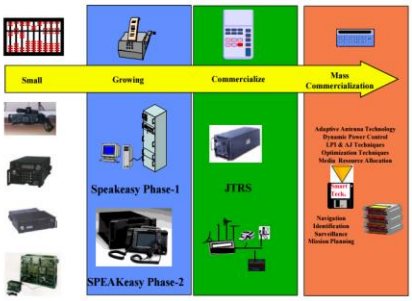


Figura 1. Evolución de las comunicaciones hasta la comercialización masiva de SDR [4]

Los aspectos que se desarrollaran en este proyecto son 4:

- Interoperabilidad
  - ✓ Emula sistemas heredados
  - ✓ Puentes diversos sistemas no interoperables
  - ✓ Proporciona pasarelas de datos
- Flexibilidad / Adaptabilidad
  - ✓ Reconfigurable, modular, escalable a los requisitos de la plataforma
- Capacidad de respuesta
  - ✓ Reprogramable - En-sitio y en el uso del mismo
  - ✓ Permite P3I
- Movilidad y Sostenibilidad
  - ✓ Reduce Logística de operación - SWAP - Repuestos
  - ✓ Reduce el número de terminales y cajas auxiliares
  - ✓ Reducciones de Costo
  - ✓ La producción inicial es competitiva
  - ✓ Ahorro de LCC: Equipo común, compra del volumen, COTS

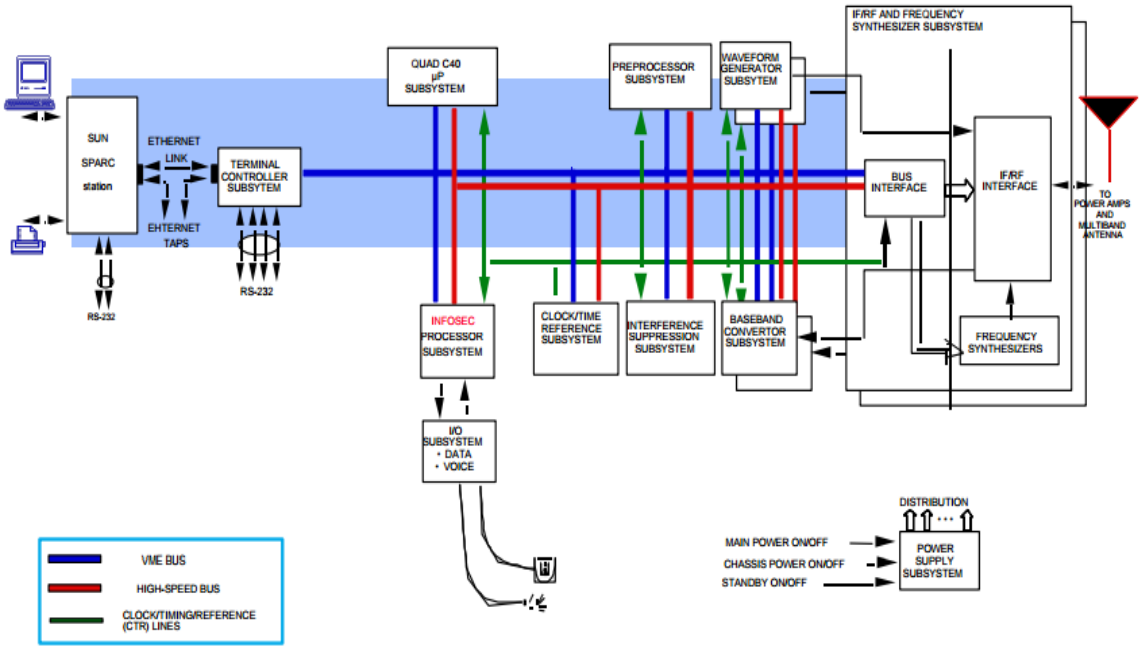


Figura 2. Arquitectura del proyecto SpeakEasy [4].

PARTE I FUNDAMENTACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

CAPITULO 1 DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las estaciones terrenas [1] y los transceptores que hacen seguimiento a satélites son de alto coste y son implementadas por países desarrollados, actualmente se tiene desarrollos de hardware y software por empresas como Pumpking, Ciclide Space y otras, el uso de SDR abre bastantes perspectivas para el futuro ya que se están usando dispositivos con electrónica embebida y se prevé que ya no será necesario construir hardware a la medida gracias al uso de SDR.

La aparición de la SDR, ha llevado a cabo la aparición de proyectos como la GNU radio, conjunto de herramientas para el desarrollo de software libre para la implementación de DSP. Al ser software libre, está a disposición de cualquier aficionado, estudiante o institución, lo que conlleva que el espectro de radiofrecuencia pueda ser accesible por todos, incrementando su demanda cada vez más [5]. Debido a los desarrollos y aplicaciones que usan el espectro de radio frecuencias, es necesario regular el mismo por parte de los organismos de cada país, los cuáles realiza una política de asignación fija del mismo. Como ejemplos de dichos organismos, en España se encuentra la CNAF (Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias), en Alemania, "Die Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen", en Reino Unido, la Ofcom (Independent regulator and competition authority for the UK mnxcommunications industries), en los Estados Unidos, la NTIA (National Telecommunications and Informations Administration [6] y en Colombia la Agencia Nacional del Espectro.
La importancia de la propuesta del presente proyecto, establece el desarrollo de interfaces dado a que en Colombia no se cuenta con desarrollos similares con una aplicación tan clara, por lo tanto el uso y desarrollo de Radio Definida por Software SDR para seguimiento de pequeños satélites en la órbita LEO, establece un abanico de oportunidades, para que esta sea accesible por Colegios, Escuelas, Universidades y Centros de Investigación que desean acceder a tecnología espacial de bajo coste y útil a la comunidad académica y científica.

1.2 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

De acuerdo con el planteamiento del problema de investigación al que se hizo referencia anteriormente, se establece la siguiente pregunta: *¿Al implementar un Receptor de datos provenientes de pequeños satélites es posible realizar un seguimiento de los mismos por medio de dispositivos SDR de bajo costo?*

1.3 SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

¿Al implementar una interface SDR es posible acceder a datos provenientes de pequeños satélites Cansat?

¿En qué se beneficiarán las partes interesadas al acceder a conocimiento de variables provenientes de pequeños satélites?

¿Qué proceso se debe seguir para implementar este tipo de tecnologías digitales de forma oportuna y con altos estándares de calidad?

1.4 OBJETIVOS

Los objetivos por cumplir en este proyecto de investigación son los siguientes:

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Implementar una interface receptora de señales satelitales en banda UHF/VFH mediante un dispositivo SDR de bajo costo.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar diferentes dispositivos de hardware de bajo coste que permitan modificar su software para implementar SDR en su sistema básico de entrada y salida e integrarla a una antena de UHF y VHF.
- Implementar una interface para SDR en un dispositivo de bajo coste y realizar pruebas de recepción de parámetros satelitales.
- Desarrollar una aplicación basada en software libre que permita visualizar datos de seguimiento de señales en la banda de UHF y VHF.

1.5 JUSTIFICACIÓN

Es importante contar con un desarrollo de una interface receptora de señales satelitales en banda UHF y VFH mediante SDR para lograr captar las señales provenientes de pequeños satélites y de esta forma analizar los diferentes datos que se reciben y así poder verlos en un sistema para de esta forma tomar realizar diferentes análisis obteniéndose información útil para la comunidad académica y científica.

Actualmente no se tiene desarrollos de SDR aplicados al campo de la tecnología satelital, de lo descrito anteriormente se pretender dejar las bases para sistema de recepción y trasmisión de mayor envergadura.

1.6 HIPÓTESIS

El planteamiento o la identificación del problema permiten definir la siguiente hipótesis:

"Al Implementar una interface de Radio Definida por Software permitirán disminuir los costos que se realizan al implementar otras soluciones de tipo analógo, de esta manera este tipo de radios digitales permiten optimizar los procesos ya que requieren solamente de algún tipo de programación, por lo tanto, tienen mayores bondades y ventajas sobre otros dispositivos similares".

1.7 ALCANCES Y LIMITACIONES

Posteriormente se detalla los aspectos que se alcanzarán en la investigación y las dificultades de realización del trabajo necesitado para lograr cumplir con los objetivos del proyecto:

1.7.1 Limitaciones

Este proyecto se limita a implementar un desarrollo sobre un dispositivo comercial de bajo coste denominado SDR y la conexión a una antena en banda de UHF y VHF; este proyecto no plantea la creación de tarjetas electrónicas ni algoritmos de demodulación o decodificación de la información.

Las pruebas se realizarán mediante sintonización de balizas o datos provenientes de pequeños satélites (Cansat) u otros satélites que puedan ser captados y por lo tanto la etapa de desarrollo de la estación terrena se debe realizar en un proyecto a futuro.

1.7.2 Alcance

Para determinar el alcance del proyecto se tiene en cuenta los siguientes aspectos:

- **Amplitud:** indica a nivel de la estructura organizacional del proyecto de investigación. Qué aspectos técnicos se ven involucrados/impactados por los resultados del mismo.
- **Profundidad:** El nivel de detalle que deberá alcanzar el proyecto de investigación es según lo planteado en los objetivos. No se pretende desarrollar un satélite comercial ni una estación terrena completa pues estas son parte de otros proyectos de investigación que tienen un nivel de complejidad bastante grande.
- **Periodo de tiempo:** El proyecto se planteó en ser desarrollado durante 18 meses.
- **Dominios:** El ámbito de desarrollo del proyecto son de pruebas de tipo laboratorio a nivel de Hardware y Software de configuración para captar las señales del pequeño satélite o de señales que se puedan identificar y realizar pruebas de recepción de satélites.

1.8 METODOLOGÍA

A continuación, se propone la metodología necesaria que permite resolver el problema de la investigación propuesto:

1.8.1 Tipo de investigación

Por el nivel de conocimientos, el tipo de investigación que se identifica es de carácter "*Descriptivo"*, porque busca investigar e interiorizar y caracterizar la situación actual de la SDR en tesis de pregrado, maestría y doctorado y, además, tiene un componente de investigación de tipo "**Aplicada"**.

1.8.2 Metodología

Debido al contexto en que se desarrollará la investigación y la manera en que se abordará la misma, la metodología a usar será de tipo descriptivo, ya que se quiere el desarrollo de una interfaz de radio definida por software SDR para seguimiento de satélites en la órbita LEO o en otras orbitas.

Las actividades principales que se desarrollaran en la ejecución del proyecto son:

1. **Planteamiento del problema:** Allí se destacan el reconocimiento de los aspectos técnicos, descubrimiento de la pregunta de investigación y la formulación del problema.
2. **Construcción del modelo técnico:** Una vez definida la formulación del problema a resolver, se procederá a realizar el planteamiento de la hipótesis central, los aspectos metodológicos y los indicadores de las variables.

3. **Deducciones de las consecuencias Particulares:** Tomando en cuenta los soportes racionales y empíricos se prueba la hipótesis planteada junto a los objetivos planteados.
4. **Aplicación de la prueba:** Llevando a cabo el diseño, la aplicación, la recopilación de los datos, la presentación del desarrollo, las pruebas del modelo teórico práctico, se realiza la documentación, las conclusiones y se plantea el trabajo a futuro.

1.9 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN

A continuación, se detallan las técnicas para realizar el levantamiento de información secundaria para este proyecto:

- Lectura de artículos, tesis de grado de maestría, doctorado y afines
- Búsqueda de información de fabricantes de pequeños satélites y equipos SDR.
- Investigación de fuentes fidedignas como La NASA, Cyclade Space, INPE y otros.

PARTE II FUNDAMENTACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

CAPITULO 2 MARCO TEORICO

En este capítulo se presenta el marco teórico sintetizado de varias fuentes entre artículos, tesis de maestría y doctorado, fuentes como la ITU T, la NASA y empresas dedicadas al desarrollo de pequeños satélites que permite establecer las bases fundamentales para el presente proyecto de investigación. A continuación, se describe un conjunto de conocimientos teóricos y técnicos que permiten orientar esta investigación y ofrecen una conceptualización teórica para abordar el problema planteado.

2.1 PEQUEÑOS SATÉLITES

SpaceWorks fue fundada en el año 2000 como un spin-off del Instituto de Tecnología de Georgia, comenzó inicialmente como un pequeño equipo centrado en los conceptos de transporte espacial para la NASA y la Fuerza Aérea de los EE. UU. En los últimos 20 años, esta compañía ha crecido y actualmente tiene más de 50 empleados, entre los que se destacan ingenieros, economistas, artistas y muchos más. Tiene la capacidad de ofrecer soporte integral en múltiples programas desde la definición del concepto inicial de un satélite hasta el desarrollo de hardware y software a la medida basado en comunicaciones, TIC investigación y desarrollo.

Según la agencia los análisis publicados por SpaceWorks para el año 2019 se tiene proyectado lanzar entre 294 y 393 nano o micro satélites (1 a 50 kg), un aumento del 18% respecto al año 2018. Esta predicción muy acertada inferior al 5% fue efectuada por el Analista Económico el ingeniero Caleb Williams, esta predicción se realizó por medio de cambios en la metodología de

pronóstico junto con la combinación de una mayor consistencia de lanzamiento y mejor ejecución por parte de pequeños los operadores de satélites que permitió una contribución a la capacidad para pronosticar con precisión el crecimiento del mercado". Las proyecciones para el año 2019 siguen siendo sólidas y se han actualizado para reflejar los avances de los vehículos o cohetes dedicados al lanzamiento de pequeños satélites dedicados, los cambios de los operadores civiles y militares y el rápido progreso de las empresas comerciales de IoT que se enfocan al uso y desarrollo de satélites. Los analistas de SpaceWorks continúan ganando confianza en el mercado de satélites pequeños a medida que los operadores comienzan a prometer menos y entregar más. "Se espera que continúe el rápido progreso de los operadores que se enfocan en las aplicaciones de IoT y se espera que las aplicaciones de comunicaciones cuadrupliquen su participación de mercado en los próximos 5 años".

El Pronóstico de mercado de los nano o micro satélite, según SpaceWorks muestra que los lanzamientos anuales han aumentado en más del 150% en los últimos 5 años. El análisis de tendencias muestra que el sector comercial continúa a la cabeza de la industria de los pequeños satélites, el sector que más se destaca es el de las comunicaciones con un 20%, lo que implica una reducción de un 15% del área que se enfoca en la observación de la Tierra y la detección remota para tener productos más enfocados al comercio.

De la publicación efectuada por SpaceWorks muestra que el área de investigación y la de desarrollo RS pasara de un 57% a un 41% debido a que los diferentes desarrollos pasaran a la etapa de comercialización, el área que más se destaca en su crecimiento será la de pequeños satélites dedicados a las comunicaciones.

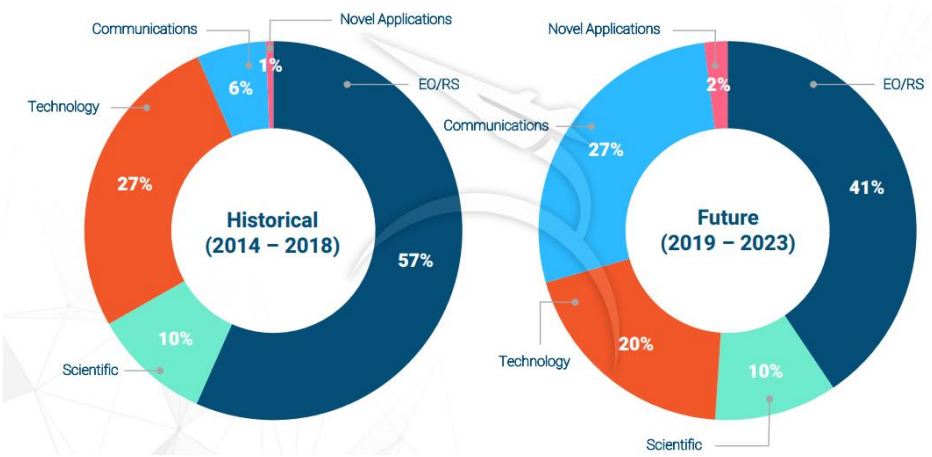


Figura 3. Clasificación de las áreas de interés de los pequeños satélites según Spaceworks[28]

En los últimos cuatro años se observa una tendencia muy marcada en pasar de construir pequeños satélites a micro satélites con pesos superiores a los 11 kg.

Los satélites pequeños permiten que muchos países y sus organizaciones gubernamentales y no gubernamentales, como Universidades, institutos de investigación y el sector privado puedan desarrollar sendos proyectos que permitan tener actividades espaciales de exploración y usos académicos en espacio y lograr de esta forma convertirse en desarrolladores de tecnología espacial.

Los satélites tienen diferentes categorías y se clasifican según su masa en:

Class Name	Kilograms (kg)
Femto	0.01 - 0.1
Pico	0.09 - 1
Nano	1.1 - 10
Micro	11 - 200
Mini	201 - 600
Small	601 - 1,200
Medium	1,201 - 2,500
Intermediate	2,501 - 4,200
Large	4,201 - 5,400
Heavy	5,401 - 7,000
Extra Heavy	>7,001

Figura 4. Clasificación de satélites según la FAA (Administración Federal de Aviación).

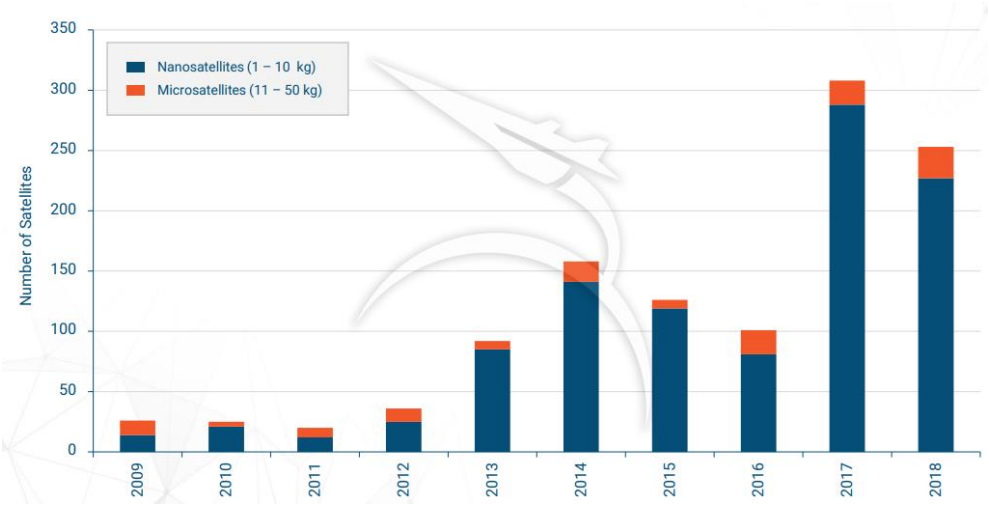


Figura 5. Entre el año 2014 al 2018 cerca de 300 satélites fueron lanzados al espacio[28]

Actualmente no se tiene un consenso o norma universal sobre la definición de un satélite pequeño o muy pequeño, únicamente se puede decir que las características típicas de las misiones de satélites pequeños pueden ser:

a) Tiempos de desarrollo de Hw y Sw cortos.

b) Equipos de desarrollo humanos con pocos integrantes.

c) Infraestructura de desarrollo y pruebas pequeñas.

d) Costos de operación bajos bajo la premisa: “Más rápido, más barato y más pequeño”.

Algunas otras características que se observan en las misiones de pequeños satélites son:

a) Involucran a actores nuevos en actividades espaciales, como instituciones académicas, empresas privadas, etc.

b) Algunas veces no se conocen los marcos regulatorios a nivel nacional e internacional, como autorización, supervisión, registro, reglamentación de radio de la UIT, espacio, directrices de, etc.

c) Problemas de mitigación de residuos o Space Debris. Para el lanzamiento y la operación de satélites.

Con respecto al derecho internacional es necesario cumplir con los siguientes requisitos:

1. Al momento de lanzar un satélite es necesario realizar la notificación y reporte de las frecuencias de radio utilizadas por el satélite lanzado en la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT).
2. Se debe presentar un documento sobre las medidas de mitigación de desechos espaciales en el diseño y operación del satélite que se va a lanzar.
3. Se requiere realizar el registro del satélite ante el Secretariado General de las Naciones Unidas.

Figura 6. Reporte del satélite colombiano FACSat-1 en la UNOOSA

En la actualidad, no existe una definición legal o reglamentaria sobre que es un satélite pequeño. La información publicada se relaciona con todos los satélites, incluidos los satélites pequeños y muy pequeños o Femtosatélites. De acuerdo a los tratados, principios y resoluciones emitidas por las Naciones Unidas relacionados con el derecho internacional del espacio, el término "objeto espacial" se refiere a los satélites, vehículos de lanzamiento y sus componentes.

El Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT se refiere a Spacecraft (RR No. 1.178) como "un vehículo hecho por el hombre que está destinado a ir más allá de la atmósfera de la Tierra"; también al satélite (RR No. 1.179) como "un cuerpo que gira alrededor de otro cuerpo de masa preponderante y que tiene un movimiento determinado de manera primaria y permanente por la fuerza de extracción de ese otro cuerpo".

La NASA publica una guía para los desarrolladores y operadores de pequeños satélites sobre temas relacionadas con el registro, la autorización, la mitigación de desechos espaciales y la gestión de las frecuencias usadas en pequeños satélites.

2.1.2 PICO SATELITES, FEMTO SATELITES Y CANSAT

El presente trabajo se enfoca en el desarrollo de pequeños satélites categorizados como Femtosatélites, no obstante se realizará una clasificación de algunos Pico satélites que han sido lanzados en los últimos años de esta forma es posible determinar el estado del arte y del avance de los mismos los cuales permiten tener las premisas fundamentales para el desarrollo de los Cansat que son satélites de tipo académico y que actualmente son distribuidos por empresas como Interorbital Space la cual comercializa el desarrollo de Tubesat como el diseñado y puesto en funcionamiento por el Instituto de Pesquisas Espaciales de Brasil INPE.

Como ya se mencionó el **Femtosatélite** es un pequeño satélite que tiene una masa entre 10 y 100 gramos, pero para lograr tal reducción de masa, y seguir siendo funcional, se deben aplicar nuevas filosofías al diseño de pequeños satélites, es evidente que con el paso de los años las empresas dedicadas al desarrollo de pequeños satélites han buscado la manera de aligerar las cargas de cada componente de los satélites, porque en el mundo de la exploración espacial, entre menos peso, menos costos y más productividad.

Los satélites actuales se basan en cajas propiedad de diferentes fabricantes donde la responsabilidad de la certificación está limitada en cada caja. Las certificaciones son otro inconveniente quede deben afrontar las empresas desarrolladoras de satélites a baja y alta escala y es que para lanzar un satélite debe cumplir ciertos parámetros, ya sean parámetros gubernamentales o parámetros establecidos por las distintos fabricantes de piezas para el satélite, esto genera obviamente un incremento en los pesos al manejar estructuras o ensambles predefinidos.

Una nueva filosofía propuesta en este trabajo es el llamado "**Thinking outside the box**" o *pensar más allá*, puede ser abrumador darle un significado a esta frase, pero representa perfectamente lo que se ha logrado en los últimos años, con personas saliendo se su cuadrado se ha propuesto este enfoque diferente donde significa diseñar todo el satélite en una sola placa PCB (Satélite en una placa de menos de 100 gramos) incluida la carga útil, resulta increíble, pero es cierto. Por lo general, las cargas útiles son cajas; el cliente cubre el sensor de carga útil dentro de una caja. Para simplificar aún más, se han propuesto una segunda filosofía que consiste en integrar la carga útil en el ciclo de diseño del Femtosatélite, lograr esta integración es un gran avance en la construcción de Femtosatélites, prototipando un esquema general para todos y beneficiando directamente a la relación cliente-fabricante. Pero bueno la arquitectura de carga útil debe basarse en la tecnología de montaje en superficie (SMT), que es la misma tecnología en la que se basa el satélite. Claramente, no todas las cargas útiles se pueden fabricar en formato SMD, por ejemplo, una aplicación de telescopio o una aplicación de comunicación de alta potencia por ser aplicaciones que requieren de una potencia y batería superior a la ofrecida por un Femtosatélite, eso sí muchas de ellas están disponibles en el mercado en forma de Comercial-off-the-shelf (COTS) gracias al nanotecnología creciente en forma de sistemas micro electromecánicos (MEMS).

Figura 7. NextGen de sensores y PCB para Femtosatélites

Vemos que para la nueva fabricación de Femtosatélites se utilizan nuevas tecnologías que simplifican el tamaño y peso del satélite, pero para lograr esto se introducen nuevas reglas de diseño que acoplen de manera útil los elementos del satélite como son sensores, la carga útil y los componentes de vuelo. Explicando algunos de estos nuevos términos, el concepto de integración de la carga útil en el ciclo de diseño de Femtosatélites, así como las tecnologías que ahora se utilizan, se tiene:

MEMS – Micro-Electro Mechanical Systems

Los sistemas micro electromecánicos son la tecnología clave para dispositivos muy pequeños; este sistema se fusiona a nano escala en sistemas nano electromecánicos (NEMS) y utilizando nanotecnología. Los MEMS están formados por componentes de entre 1 y 100 micrómetros de tamaño, y los dispositivos MEMS generalmente varían en tamaño entre 20 micrómetros y 1 milímetro. Estos generalmente consisten en una unidad central que procesa datos (el microprocesador) y varios componentes que interactúan con el entorno, como los

microsensores, veremos que el uso de COTS cada vez es más frecuente en la fabricación de pequeños satélites, por la relación costo-beneficio que trae para la empresa.

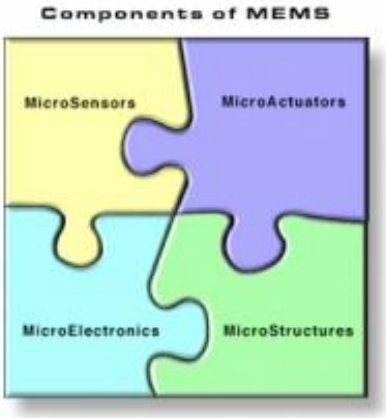


Figura 8. Componentes de un sistema microelectromecánico (MEMS)

Algunos de los materiales utilizados para la fabricación de estos MEMS son: silicio (tiene buenas propiedades mecánicas), polímeros (más baratos que el silicio porque se puede producir en grandes volúmenes), metales (pueden presentar grados de confiabilidad muy altos) y cerámica (combinaciones ventajosas de propiedades materiales), era común hace algunos años no confiar en los MEMS por su dudoso material y proceso de fabricación, pero que ha cambiado con la experimentación de nuevos materiales que han dado un resultado positivo para el campo de los MEMS's.

COTS – Commercial-off-the-shelf

Los COTS son componentes comerciales que vienen listos para usar, es decir que están disponibles para todo el público y no necesitan de un proceso de modificación, como bien dice estos dispositivos son importantes y muy útiles al momento de desarrollar proyectos pequeños o a baja escala, ya que no requieren de soporte con el tiempo y son fáciles de manipular, dispositivos MEMS o SMD son COTS.

Claramente el uso de COTS para la fabricación de pequeños satélites es ventajosa, ya que estos componentes se brindan a un costo reducido, acorta los tiempos de producción y son eficaces con los objetivos de los proyectos en los que adecuen.

SMD – Surface Mounted Device

Los dispositivos de montado en superficie o SMD, se fabrican utilizando la tecnología SMT, este método para realizar circuitos electrónicos en el que los componentes se montan o colocan directamente sobre la superficie de placas de circuito impreso (PCB), estos SMD son sumamente útiles cuando necesitamos reducir espacio de montaje de los circuitos, ya que al ir soldados directamente con la placa ahorra espacio, ahorra recursos y hace que la transmisión de datos sea más rápida.

Cuando se habla de Femtosatélites quizás el más conocido es el proyecto WikiSat una maravillosa iniciativa para poner en órbita Femtosatélites, usando una plataforma estándar de aproximadamente unos 20 gramos, esto sirviendo para probar componentes electrónicos o pequeños sistemas destinados a misiones espaciales. Lo cierto es que el WikiSat es una forma nueva y económica para acceder al espacio y que está disponible para todo el mundo.

El equipo de WikiSat nació en el 2009 como un grupo internacional abierto formado por gente aficionada al espacio, pero de diferentes campos. Su principal finalidad es brindar acceso al espacio para todos. El equipo de WikiSat participa en el concurso N-Prize, que consiste en poner en órbita un pequeño satélite de menos de 20 gramos por medios privados y el precio no puede superar los 1.200 euros. Hoy en día, ningún equipo lo ha logrado.

El Programa Espacial WikiSat consta de un diseño de Femtosatélite, su lanzador y la plataforma de gestión de la misión, obviamente dentro de cada parte del desarrollo del WikiSat

surgen otras sub-ramas importantes, además ya hay aplicaciones para celular que detectan las señales de frecuencia de todos los satélites wikisats enviados.

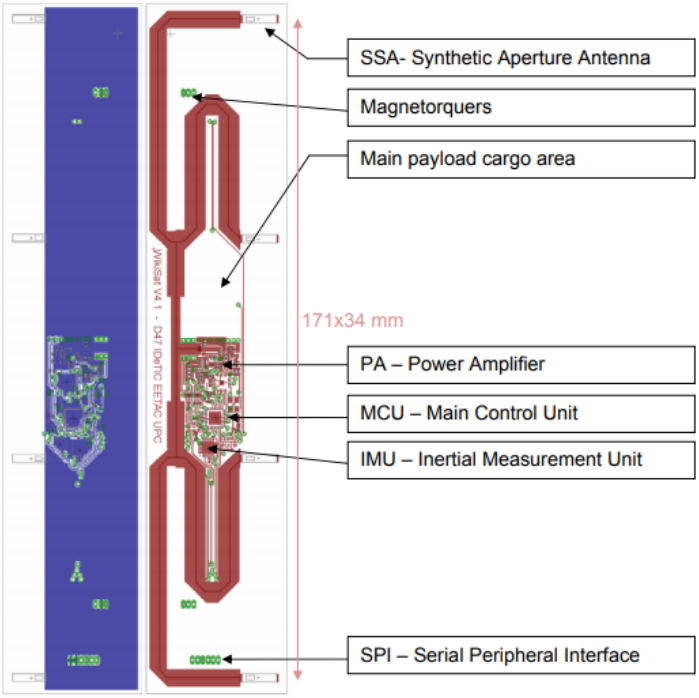


Figura 9. Principales componentes de un Femtosatélite WikiSat

Ahora pasando por los pico-satélites o también llamados Cubesats nació en los 90' con el objetivo era permitir que estudiantes pudiesen diseñar, construir, probar y operar un satélite en el espacio con capacidades similares al del primer satélite Sputnik, con un menor tamaño se convierte en una tarea más sencilla y manipulable para estudiantes de todas las universidades, esto motivaba a aquellos pretendían enfocar sus carreras a estudio aeroespacial ya que veían en los Cubesats esa oportunidad para iniciar pequeños desarrollos sin gasta muchos recurso y correr tantos riesgos. Con el paso del tiempo esto se volvió un estándar en universidades y escuelas, haciendo uso de pequeños laboratorios lo jóvenes empezaron a desarrollar pequeños satélites, emulando aquellas grandes obras históricas de la ciencia aeroespacial.

Con la aparición de los pequeños satélites también apareció una clasificación entre ellos y sin pérdida del potencial, varias instituciones se enfocaron más hacia los nanosatélites (satélites menores a 10 kilogramos de peso) y los picos satélites, donde el estudio de estos iba enfocado a mejores diseños que redujeran el peso y volumen de los mismos.

Los primeros CubeSats se lanzaron en junio de 2003, en un Eurockot ruso. Actualmente, el proyecto CubeSat es una colaboración internacional de más de 100 universidades, colegios y firmas privadas, desarrollando Pico satélites y nanosatélites conteniendo cargas científicas, privadas y gubernamentales.

Partes de un pequeño satélite

Un satélite pequeño está conformado por varios módulos que suelen ser en general 6, estos módulos se encargan de gestionar todo lo correspondiente a la automatización del satélite, por esto cuenta con un módulo enfocado a gestionar los servicios principales como lo son el mantener en órbita al satélite y gestionar cada cierto tiempo la orientación de las antenas, cuenta con otro módulo de comunicación, que como su nombre lo indica es encargado de enviar y recibir las señales por ondas; un módulo de potencia que su función es almacenar toda la energía posible para distribuir alimentación a todos los elementos del satélite, en este módulo la energía se puede adquirir mediante paneles solares; un módulo térmico donde su función es regular la temperatura de todos los elementos que conforman el satélite, esto con el fin de salvaguardar la vida de los componentes; por ultimo un módulo de carga útil que es el más importante en cuanto a los objetivos de la investigación pues su función es leer y recolectar la información que se va a estudiar.

Los CubeSat o picosatélites se usan a menudo para demostrar nuevas tecnologías, probar nuevos conceptos y nuevas infraestructuras. Pero ya en la actualidad el mercado de estas tecnologías es más frecuente, porque cada vez es más rentable el estudio del espacio; estos picos satélites al ser tan pequeños ofrecen muchas ventajas de complejidad de diseños y buena integración de componentes, a medida que estos dispositivos se vuelven más fáciles de implementar incursionan más instituciones educativas que ayudan a mejoran aspectos de diseño, integración, lanzamiento y puesta en órbita.

Así como en las especificaciones de los Femtosatélites, los CubeSat buscan cumplir varios objetivos específicos. La simplificación de la estructura del satélite permite el diseño y manufactura de un satélite funcional de bajo costo. La encapsulación del lanzador y la interfaz de la carga útil reducen problemas burocráticos y prohibiciones, que se daban durante el acuerdo del lanzador y el desarrollador. La unificación de cargas útiles y lanzaderas permite un rápido intercambio de cargas útiles y la integración a oportunidades de lanzamiento repentinas.

Características de un pico satélite estándar (12)

- El pico satélite no debe presentar ningún peligro para los picosatélites vecinos, ni para la carga útil primaria, ni para el vehículo de lanzamiento: todas las partes deberán permanecer unidas durante el lanzamiento, la eyección y la operación y no se les permite pirotecnia.
- Sus dimensiones deben ser 10x10x11.35 cm (incluyendo los rieles para su expulsión a través del P-POD.
- Su masa no deberá exceder los 1.33 Kg.
- Centro de masa debe estar dentro de 2 cm de su centro geométrico.

- Se recomienda lo más cercano posible, el uso de materiales aprobados por la NASA o la ESA: esto permite una reducción de la liberación de gases y la contaminación.
- Se sugiere el uso de 4 aleaciones de aluminio (7075, 6061, 5005, y 5052) para la estructura principal.
- Ningún dispositivo electrónico puede estar activo durante el lanzamiento.
- El sistema de alimentación eléctrica del CubeSat deberá estar apagado, desde el momento de su inserción en el P-POD, hasta su expulsión en su órbita por el vehículo de lanzamiento.
- Se requiere al menos de un interruptor para activar al CubeSat, después de su expulsión del P-POD.
- Todos los objetos desplegables tales como antenas y paneles solares, se deben desplegar en un tiempo máximo de 30 minutos después de la expulsión.
- El CubeSat no deberá generar ni transmitir señales, desde su inserción en el P-POD, ni antes de 45 minutos después de su expulsión.
- El CubeSat deberá estar sometido a las pruebas de aceptación y certificación, de acuerdo con las especificaciones del lanzador. Cada CubeSat tiene que sobrevivir a las pruebas de calificación para el lanzador que fue seleccionado. Las pruebas de aceptación también se realizan después de la integración en el sistema de despliegue.

P-POD de un pico satélite

Es un sistema de implementación estándar que garantiza que todos los desarrolladores de CubeSat cumplan con los requisitos físicos comunes. El P-POD juega un papel fundamental como interfaz entre el vehículo de lanzamiento y CubeSats. Utiliza un diseño tubular y puede contener hasta 34 cm x 10 cm x 10 cm de espacio de hardware desplegable.

El P-POD minimiza las interacciones potenciales con las cargas útiles primarias en un vehículo de lanzamiento al encerrar físicamente los CubeSats y exigir que se lancen en un estado inactivo "apagado".

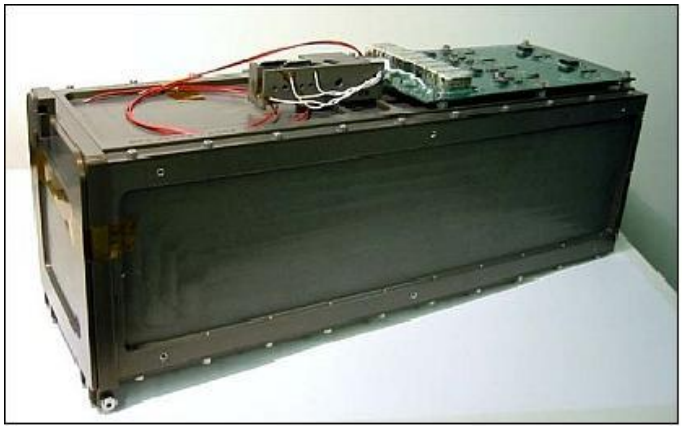


Figura 10. Estructura P-POD de un Cubesat o pico satélite

2.2 ESTUDIO DE ÓRBITAS Y FUNCIONES DE LOS SATELITES

El ámbito de los estudios en la física solar y espacial se ha expandido para abarcar el estudio del entorno espacial de la Tierra, el viento solar y sus interacciones con el resto de los planetas, así como el papel que desempeña el Sol en la creación y control del plasma cargado eléctricamente que llena la Helioesfera. Los avances en este campo tienen un impacto, digamos, crítico en la sociedad, porque cada vez volvemos más dependientes de una creciente gama de dispositivos electrónicos tecnológicamente avanzados, pero vulnerables a las condiciones del espacio. Dado que la ‘salida’ del Sol es muy variable en localización, intensidad y hora, el medio ambiente cercano a la Tierra, es dinámico y ‘hospeda’ numerosos fenómenos que presentan peligros para las naves espaciales, astronautas, la infraestructura terrestre y sobre todo para lo que nos abarca los pequeños satélites.

Antes de estudiar las orbitas espaciales, es importante aclarar un poco las capas de la atmosfera y de esta manera contextualizar un poco en que capa se ubican los satélites y cuáles son los posibles riesgos de ubicar los satélites a determinadas distancias.

El campo magnético de la tierra nos protege de la actividad más feroz del Sol. Las partículas con gran energía, las emisiones de antorchas y las eyecciones de masa coronal son desviadas por el campo magnético antes de que puedan llegar al suelo terrestre. La tierra cuenta con 5 tipos de capas protectoras.

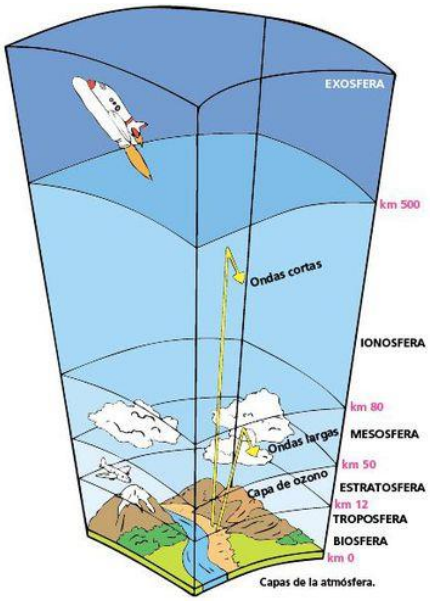


Figura 11. Capas de la atmosfera

Es importante destacar la Ionosfera se llama así porque es un plasma muy delgado de átomos (iones) y electrones cargados eléctricamente, debido a la radiación ultravioleta (UV) del Sol. Técnicamente se extiende desde unos 85 km hasta más de 690 km. Por encima de la ionósfera, el entorno espacial puede ser hostil debido a la fuerte actividad solar. Pero por debajo, los riesgos de radiación son mucho menores.

2.2.1 ÓRBITA LEO (Órbita terrestre baja)

Así como se distinguen las capas de la atmósfera, la tierra tiene 4 tipos de órbitas, que hacen que algún objeto gire con cierto comportamiento alrededor de ella, llamadas LEO (Órbita terrestre baja), MEO (Órbita terrestre media), GEO (Órbita geoestacionaria) y HEO (Órbita terrestre alta). Las órbitas pueden ser casi circulares, o ser altamente excéntricas, acercándose a la tierra en un extremo de la órbita, y luego alejándose en el otro.

La pregunta sería ¿cuál es la órbita más segura y mejor posicionada para ubicar todo tipo de satélites? – la respuesta es la órbita **LEO,** esta es la órbita más segura para la ubicación de pequeños satélites, la razón es porque es la órbita más cercana para la transmisión de datos y frecuencias, además en cuanto a la radiación es la de más bajo porcentaje esto ayuda a que los aparatos electrónicos no se vean afectados por la ondas de radiación, pues en otras órbitas como MEO o HEO la radiación es mucho más alta, de por si la Estación Espacial Internacional o ISS está ubicada en la órbita LEO.

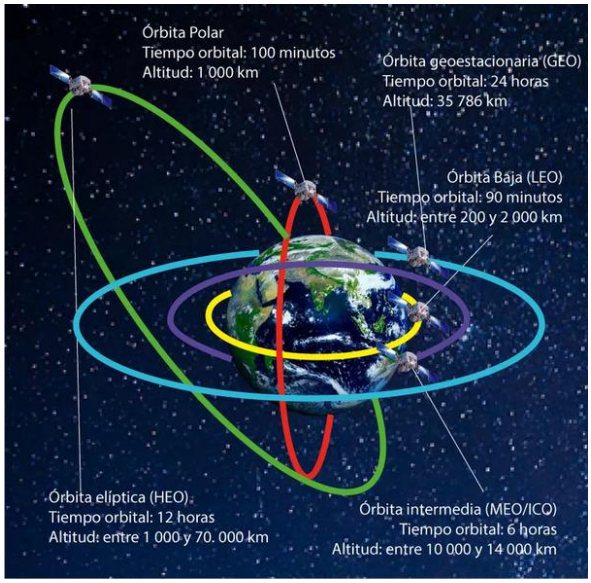


Figura 12. Órbitas MEO, LEO, GEO y HEO

Como ya vimos la órbita LEO es la más segura y estable para ubicar pequeños satélites, además esta órbita LEO tiene un período de 90 minutos. Es decir, gira alrededor de la tierra una vez cada 90 minutos, haciendo unas 15 órbitas al día. En cuanto a el posicionamiento esta órbita pasa cerca del Ecuador de la tierra también llamadas órbitas ecuatoriales; también realiza su recorrido de Polo a Polo, Norte a Sur, que también se denominan SSO.

LEO comienza a 200km - por debajo de esa distancia, no se puede mantener una órbita estable, justo en esta órbita el arrastre atmosférico es alto, debido a que es la órbita más cercana a la tierra. Pero se compensa con la disminución en costos de envío pues al estar más cerca y en posición favorable él envió de pequeños satélites resulta más económico que enviar a otras órbitas.

Factores hostiles para la ubicación de pequeños satélites

En el mundo aeroespacial no solo basta con tener claro donde ubicar los satélites, sino que toca analizar aquellos factores que podrían acabar pronto una misión espacial o un proyecto de pico satélite y es que el medio ambiente en el espacio es sumamente hostil, presenta unas condiciones bárbaras, donde resulta complejo predecir lo que puede suceder después de ubicar un satélite en órbita, algunos de estos factores son:

- **Primer factor – Temperatura:** La cual puede llegar de -120 grados Celsius a 150, esto varía según la exposición al sol o accidentes humanos, pero es de locura ver que un dispositivo puede alcanzar estas temperaturas, es importante a la hora de modelar un satélite tener en cuenta las horas de exposición que va a tener al sol y las horas en que estará a la sombra de la tierra; como la órbita va girando varias veces a lo largo del día hace necesario que el satélite tenga en su diseño un sistema que le permita rotar y se adecue a posiciones favorables donde la temperatura no le llegue a afectar de manera drástica.

En el diseño se debe incluir un buen sistema térmico que permita disipar el calor a temperaturas muy altas y aumentar la temperatura a través de un calentador cuando las condiciones son de extremo frio. Para cubrir estos aspectos un sensor térmico que cubra un rango -40 a 120 grados sería suficiente para leer y gestionar estas situaciones, pero no estaría demás incluir en el sistema un sensor de detección de luz para que automáticamente detecte cuando está expuesto al sol y pueda girar según corresponda y así evitar quemar componentes del hardware.

- **Segundo factor** – **Radiación**: Las ondas de radiación que provienen del cosmos o de los elementos que rondan por el universo pueden perturbar el funcionamiento de los circuitos electrónicos, errores como por ejemplo el cambio de 0 a 1 en el valor de un bit. En el espacio el clima espacial es complicado e incontrolable, con tormentas de radiación inesperadas que reducen la vida útil del satélite y que en ocasiones dañan los componentes de bajo costo del satélite, es un problema de degradación difícil de controlar y donde los 2 efectos de radiación más importantes que pueden afectar considerablemente los circuitos electrónicos son:
    - La **TID** dosis ionizante total, que es la cantidad de radiación acumulada con el tiempo.
    - Los **SEE** o efectos de un solo evento, son aquellas perturbaciones creadas por partículas individuales que golpean a los circuitos electrónicos y que logran traspasar los recubrimientos físicos del satélite.

El efecto de la radiación se puede ver en los COTS, estos dispositivos contienen un porcentaje de error, lo que hace la radiación es incrementar la probabilidad de fallo en la

medición de datos ocasionando errores graves en la ejecución esperada del software o microcontrolador.

- **Tercer factor – Colisión:** La colisión inesperada con basura espacial u otros objetos (meteoritos) es algo difícil de prever en las condiciones de un satélite, son sucesos que pasan minutos o incluso segundos y que para un seguimiento del satélite pobre resulta una catástrofe del proyecto, por ejemplo, un objeto a 36 mil kilómetros por hora que impacte el satélite dejaría solo el polvo.

  La basura espacial es el producto de los escombros de aquellos satélites que ya cumplieron su vida útil, esta basura queda orbitando la tierra y con el paso del tiempo alcanzan velocidades lo suficientemente altas para que en un impacto logre dañar los satélites.

  Con los avances en el campo aeroespacial han aparecido tecnologías que nos permiten visualizar en tiempo real la basura y escombros espaciales que orbitan la tierra, así como también darle seguimiento a esta basura si es de nuestro interés, una de estas herramientas es **WebGL** una web que nos permite ver esto incluido algunos datos importantes para cada objeto.

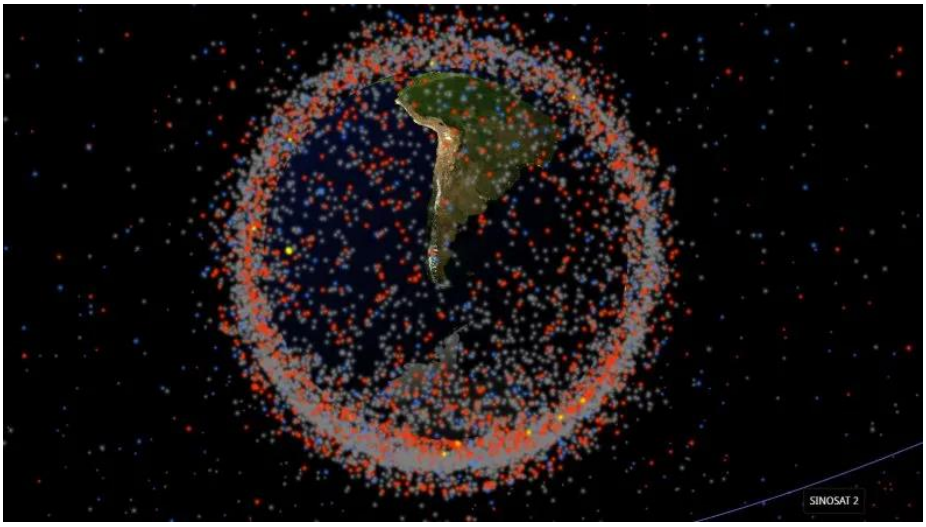


Figura 13. Escombros y basura espacial alrededor de la tierra en WebGL

- **Cuarto factor** – **El vacío:** Un cuarto factor, pero no menos importante es el vacío, si alguna parte de las tarjetas electrónicas queda con una burbuja de aire en la etapa de construcción, esta puede desprender los componentes, por ejemplo, aire guardado en el pegamento o soldadura que no se detecte al momento de la última revisión antes del envío, puede resultar en un proyecto frustrado
- **Quinto factor – Tiempo de vida o carga útil**: Una de las partes más importantes de un satélite es la autonomía que se va a tener para el satélite, esto determinará el tiempo en que estará el satélite en órbita, normalmente estos tiempos ya están previstos y si todo marcha bien podrá cumplir toda la misión; aunque lo que no se puede prever es aquellos factores que reducen el tiempo de vida e implican la afectación de la batería.

  A mayor altitud es mayor el riesgo y el deterioro del satélite y sus componentes, por ejemplo, para órbitas circulares el tiempo estimado de vida es más o menos un año a 450 km de altitud, pero por lo general el tiempo es mucho menos ya que en órbitas como LEO, que es una órbita baja cercana a la atmosfera, los dispositivos solo pueden permanecer pocas semanas sin que se quemen.

  También es importante mencionar que los componentes que se construyen actualmente para pequeños satélites no están preparados para aguantar en condiciones espaciales o radiación por mucho tiempo.

2.2.2 ORBITRON

Tal vez no muy conocido, pero no menos importante es Orbitron un sistema de seguimiento de satélites para radioaficionados, Orbitron es la aplicación que todo aquel interesado en el mundo de la tecnología espacial y micro satélites debería conocer. El objetivo principal de este sistema es

permitir la observación de satélites proporcionando servicios para la predicción del paso de algún satélite, las antenas de dirección y la sintonización de radios.

Esta aplicación también suele ser utilizada por profesionales del clima, usuarios de las telecomunicaciones, astrónomos e incluso aficionados a los ovnis. La aplicación muestra la posición de los diferentes satélites posicionados en la órbita en tiempo real y lo mejor de todo es que es una aplicación sencilla de usar y muy potente para desarrollar tareas complejas, además su uso es gratuito algo que llama mucho más la atención.

¿Qué es el satélite tracking (seguimiento satelital)?

Desde la aparición de los primeros satélites artificiales puestos en órbita, el ser humano empezó la construcción de miles de satélites por año los cuales han sido puesto en órbita pero que en un principio no había un seguimiento tan sofisticado como lo hay ahora. Desde la aparición de sistemas de seguimiento como Orbitron las personas han podido rastrear los satélites que orbitan el planeta tierra (que no son pocos más de 8000) a través de un software muy potente desarrollado bajo el lema '*Orbitron is cardware'*.

Para que el software funcione siempre y con la misma precisión es necesario actualizar los elementos periódicamente para aquellos objetos o satélites posicionados en una órbita baja, es decir aquellos satélites que se encuentra en una altitud menos a los 500 km, los datos de TLE deben estar actualizándose momentáneamente. En cambio, para objetos en órbitas más altas, su actualización no es tan frecuente, quizás aquellos satélites que maniobran demasiado si toca estar revisándolo y ajustándolos en la actualización, es el caso de satélites como *Progress*, *Soyuz* y lógicamente el *transbordador espacial*.

Algo a tener cuenta es en medida de lo posible hacer predicciones los más cerca al tiempo real mediante el uso de la sincronización del tiempo que ofrece el software y las coordenadas precisas de la ubicación.

TLE en Orbitron

Como se ha mencionado los TLE deben ser actualizados constantemente por el usuario, estos son archivos que contiene el listado de objetos que orbitan en la tierra con sus respectivos elementos orbitales, estos archivos son fundamentales para el funcionamiento del sistema ya que con estos elementos y usando las fórmulas matemáticas adecuadas es que Orbitron estima la posición y velocidad del objeto en tiempo real.

Como funciona Orbitron

Gracias a los años de estudio del espacio y los comportamientos de los satélites se han podido establecer condiciones que predicen el movimiento de los satélites en el espacio, lo que hace el software de Orbitron es calcular la posición de un satélite en un momento dado. Para realizar estos cálculos complejos en tiempo real Orbitron se basa en parámetros conocidos determinados por épocas, los parámetros orbitales de cada satélite son: inclinación, excentricidad, argumento del perigeo y movimiento medio del día, estos múltiples parámetros permiten que el software rastree durante periodos razonables de tiempo el satélite.

Algunas características de Orbitron

- Modelos de NORAD SGP4/SDP4
- Se pueden cargar 20000 satélites desde archivos TLE
- Se puede rastrear todos los satélites al mismo tiempo
- Seguimiento al sol y la luna
- Modos de pantalla completa

- Modo se tiempo real y simulación
- Modo nocturno con ajustes de visualización
- Información de cada satélite y orbita
- Posibilidad de notas en lo objetos
- Radar
- Base de datos de ciudades de todo el mundo
- Base de datos de todas las frecuencias del satélite
- Radio control
- Actualizador de TLE
- Entre otros

Requerimientos del sistema

Una de las ventajas de Orbitron es que a pesar de un software potente es sumamente ligero y no consume casi nada de recursos, lo que lo hace muy indicado para cualquier tipo de persona interesada en los satélites y su comportamiento, sin importar si dispone de una computadora muy viejita o una computadora actual, sus requerimientos de hardware son:

- Windows 9x/2k/Me/XP/2003/Vista, Linux
- Procesador de al menos 150 MHz (300 MHz) básicamente cualquier procesador del mercado
- 16Mb de memoria RAM
- 5Mb de espacio libre en el disco
- Una pantalla con resolución de mínimo 640x480

Es increíble ver que con casi nada Orbitron funciona a la perfección y a pesar de ya ser un programa con recorrido mantiene su sistema estable y muy optimizado, su última versión para descarga gratuita es la **versión 3.71 - 2005.09.08.**

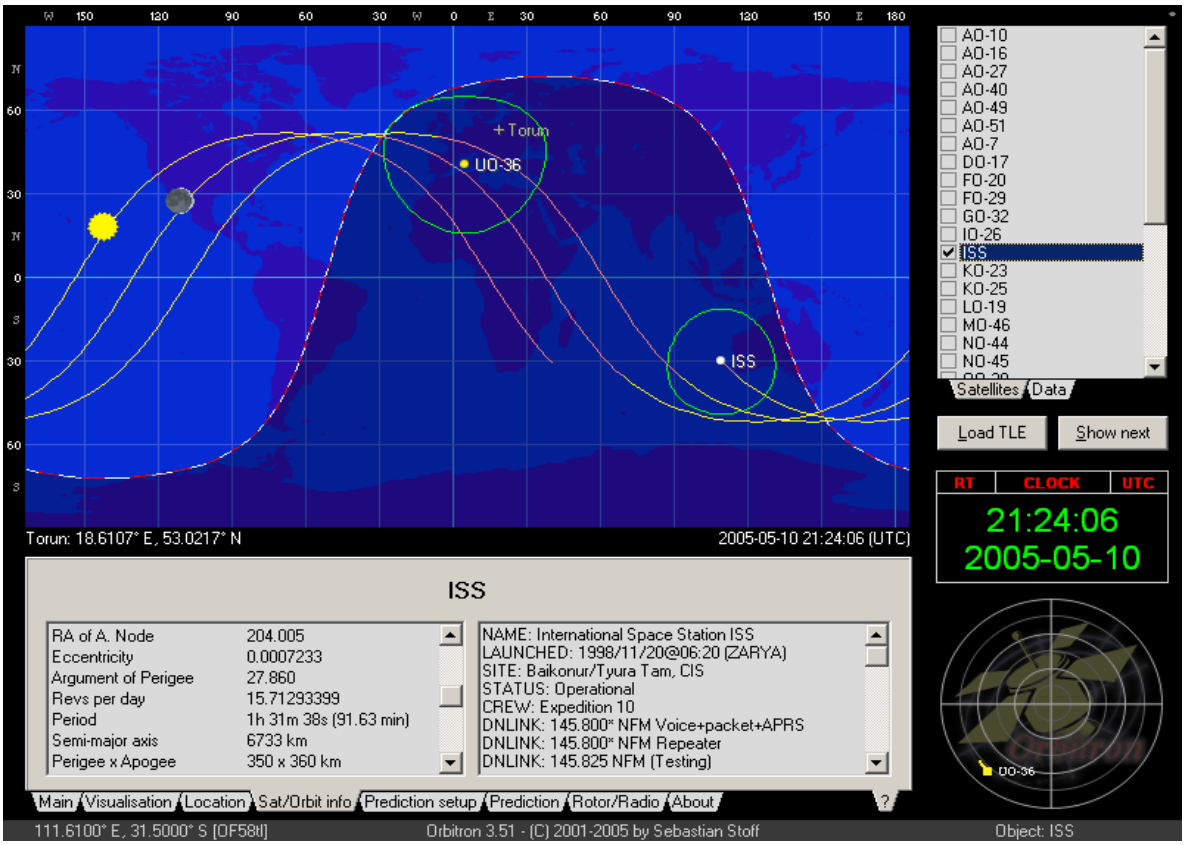


Figura 14. Software Orbitron en su última versión

Interfaz del programa

Orbitron al ser un poco antiguo puede ser complicado para aquellas personas que lo prueban por primera vez y aunque sepan del tema se les puede complicar el manejo de la interfaz, dicho esto es importante tocar algunos aspectos importantes del software.

Como se mencionó Orbitron nos permite visualizar las trayectorias y la cobertura de diversos satélites que se encuentran en su base de datos. Estas trayectorias son las que determinan el comportamiento pasado, presente y futuro del satélite a analizar, esta trayectoria es representadas por curvas sinodales como en la figura x (figura anterior). Dentro de la interfaz

principal se tienen 3 menús o contenedores principales, el menú ubicado en la parte inferior que representa el menú de herramientas del programa junto con la configuración del modo y hora; la zona central que representa la tierra y los dispositivos en ella y el menú de la derecha que muestra la lista de satélites junto con información detallada para cada uno; un poco más abajo muestra un pequeño submenú que contiene datos de la hora local elegida y un radar que detectara los satélites en la zona central.

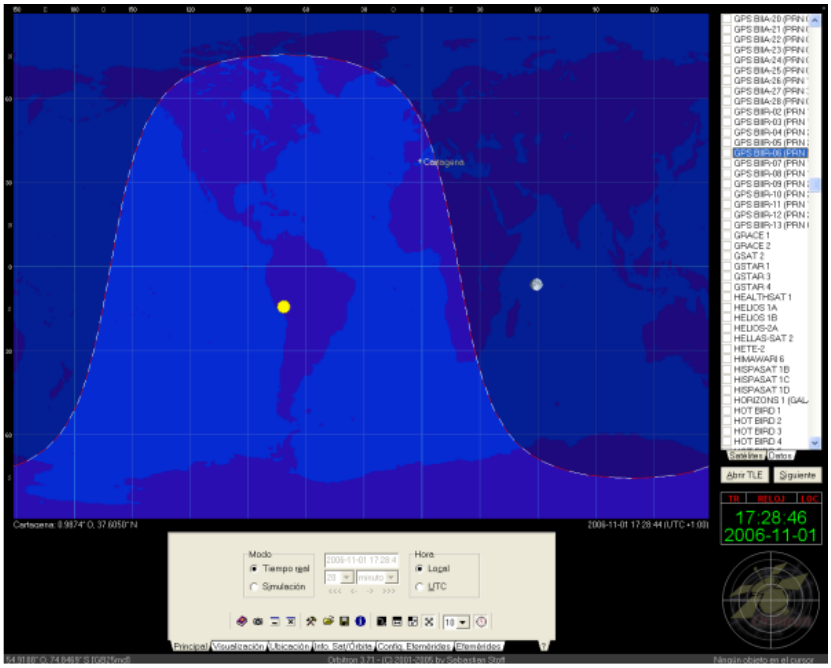


Figura 15. Vista principal de Orbitron

Zona de visualización

En la zona central se mostrará la información del satélite que se selección de la base de datos, inicialmente la zona central está dividida por una curva donde se muestra el sol y la luna en cada parte, en la parte iluminada representa las zonas geográficas de la tierra que están diurnas y por supuesto la zona oscura representa las zonas donde hay noche. Dentro de la zona central se

podrá seleccionar una ciudad para ver los satélites de la misma y poder hacer el seguimiento a estos satélites, el submenú para hacer este proceso es el de la figura x.

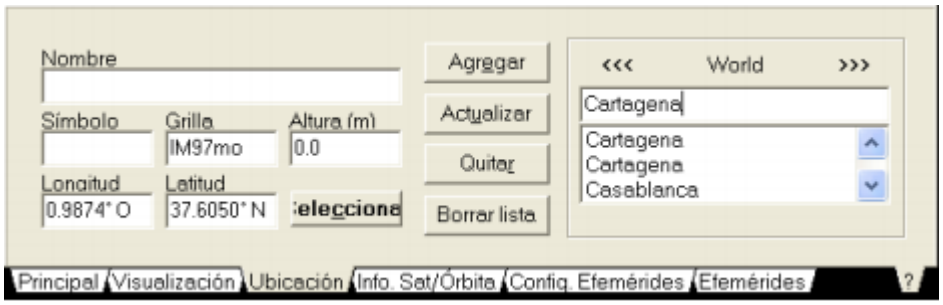


Figura 16. Submenú para elegir ubicación

También se puede visualizar la parte del radar que para activarlo solo basta con ir al menú de herramientas ir pulsar en mini radar, un radar en correcto funcionamiento debería verse de la siguiente forma donde los puntos verdes son todos los satélites encontrados en la vista principal.

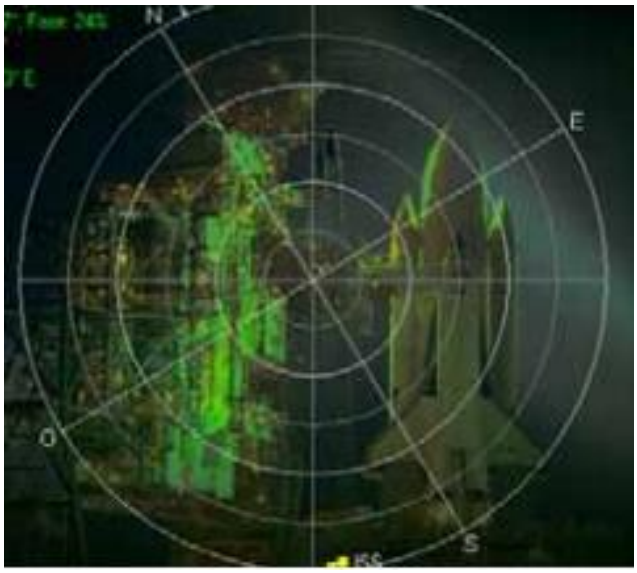


Figura 17. Radar encendido en Orbitron

Predicción de satélite

Siguiendo con el menú de navegación en la pestaña, donde dice “efemérides” se podrá predecir los pasos de los satélites en la cantidad de días que se le indique. Para escoger el número de días en que quiere que prediga, debe colocar en la pestaña de *Conf*. De efemérides, donde se puede cambiar los días a gusto.

Luego en la pestaña de efemérides, solo debe colocar “*Calcular*”, y se debe esperar a que se cargue todas las predicciones, aparecerá una ventana como la de la figura x.

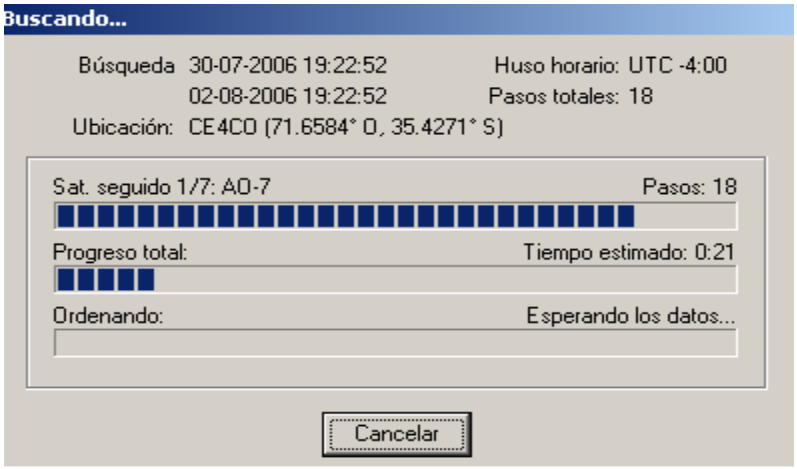
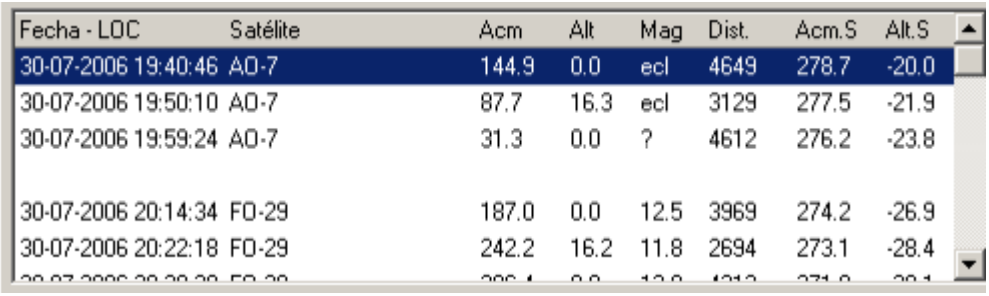


Figura 18. Ventada de carga de las predicciones

Una vez terminado este proceso, se coloca en aceptar y se notara que cada satélite se repite 3 veces cada uno. Estas repeticiones se deben a que la primera representa la aparición del satélite, La segunda representa el punto de máxima altura, y la tercera representa el punto de perdición del satélite.



Fecha - LOC	Satélite	Acm	Alt	Mag	Dist.	Acm.S	Alt.S
30-07-2006 19:40:46	AO-7	144.9	0.0	ecl	4649	278.7	-20.0
30-07-2006 19:50:10	AO-7	87.7	16.3	ecl	3129	277.5	-21.9
30-07-2006 19:59:24	AO-7	31.3	0.0	?	4612	276.2	-23.8
30-07-2006 20:14:34	FO-29	187.0	0.0	12.5	3969	274.2	-26.9
30-07-2006 20:22:18	FO-29	242.2	16.2	11.8	2694	273.1	-28.4

Figura 19. Predicciones para los satélites

Por último, estas predicciones pueden guardar en la barra de herramientas y también se podrá ver los satélites mediante la modalidad de rotor. En general este es a grandes rasgos el funcionamiento general del software Orbitron.

2.2.3 GNU RADIO

Hablar de SDR es hablar de GNU Radio el entorno de desarrollo open source más poderoso e importante a día de hoy para la gestión y programación de SDR, GNU radio como tal es un kit de herramientas de desarrollo de software de código abierto y gratuito que proporciona al usuario bloques de procesamiento de señales para implementar radios de software. En primera instancia es un software muy potente para manejar señales y ondas de comunicación, este software se puede utilizar con hardware externo de bajo costo sin ningún problema y la implementación de radio definidas por software no es compleja.

Su utilización es variada va desde entornos investigativos hasta aficionados a las radios comunicaciones, es utilizando ampliamente en instituciones académicas, industria aeroespacial, gobiernos y diseñadores de pequeños satélites.

El beneficio de utilizar este software es que es un sistema rápido para generar sistemas de radio sin la necesidad de utilizar circuitos integrados en el hardware, este mismo software se puede utilizar para creación de radio frecuencias estándares para comunicaciones diferentes y la implementación de una gran variedad de aplicaciones enfocadas a la comunicación a larga distancia por lo generalmente ondas SDR.

Importancia

Todo lo que es el tema de las señales de radio definidas por software y la programación de estas señales suena en principio compleja y más para principiantes o personas que se inician en el

tema. GNU ofrece a estas personas un software bien documentado para todas las personas, GNU ofrece al usuario un sistema basado en ventanas y bloques de fácil compresión y a que a partir de los diseños predefinidos que ofrece le resulta más fácil la adaptación a los usuarios.

Mediante GNU Radio se puede configurar el USRP, ya que a través del UHD modifica parámetros tales como la elección de la antena, la frecuencia de RF o IF que se desea recibir, la ganancia y los factores de diezmado e interpolación, además GNU radio se encarga de procesar digitalmente las señales que provienen en banda base.

Sin restricción

Se puede decir que GNU es multiplataforma pues funciona GNU/Linux, Mac y Windows y al ser un software open source y tener una gran comunidad de usuarios, el software es seguro, estable y mantenerle, cuenta con excelente y amplia documentación además de su modo de uso sin hardware que ofrece ventajas a aquellas personas que no pueden costear los dispositivos o solo necesitan probar cosas específicas.

Instalación

Como se mencionó GNU es un software que se puede trabajar sobre cualquier plataforma, pero por lo general la comunidad suele trabajar sobre Linux, es por esto que se mostrara una forma rápida de instalación sobre la distribución Ubuntu 12.04 ya que hay micha documentación existente en la actualidad y GNU se fundamenta en el uso sobre este sistema operativo. En términos generales trabajar GNU radio sobre GNU/Linux es la opción más indicada, por documentación, por comodidad, por estabilidad, por comunidad y por rendimiento.

Aunque existen varias maneras de instalar este software, la más indicada es instalar directamente sobre el disco del ordenador para poder tener estabilidad y no perder recursos. Aunque en la página oficial de GNU radio se encuentra más a detalle el proceso de instalación del programa para las

diferentes plataformas, en este caso se mostrara el proceso de instalación mediante script por consola, donde después de abrir el terminal de Ubuntu y seleccionar el directorio donde se requiere queden los datos del programa, que por lo general es ***cd~/gnuradio,*** para luego ejecutar el siguiente comando:

$ wget http://www.sbrac.org/files/build-gnuradio && chmod a+x ./build-gnuradio && ./build-gnuradio

El proceso de instalación dura alrededor de 1 a 2 horas dependiendo de la conexión y una vez terminada la ejecución ya se tendrá disponible la última versión del programa. Para arrancar el programa y verificar que la descarga e instalación fue correcta se hace con el comando:

gnuradio-companion

Este comando arrancará la interfaz del programa y se verá como la figura 20.

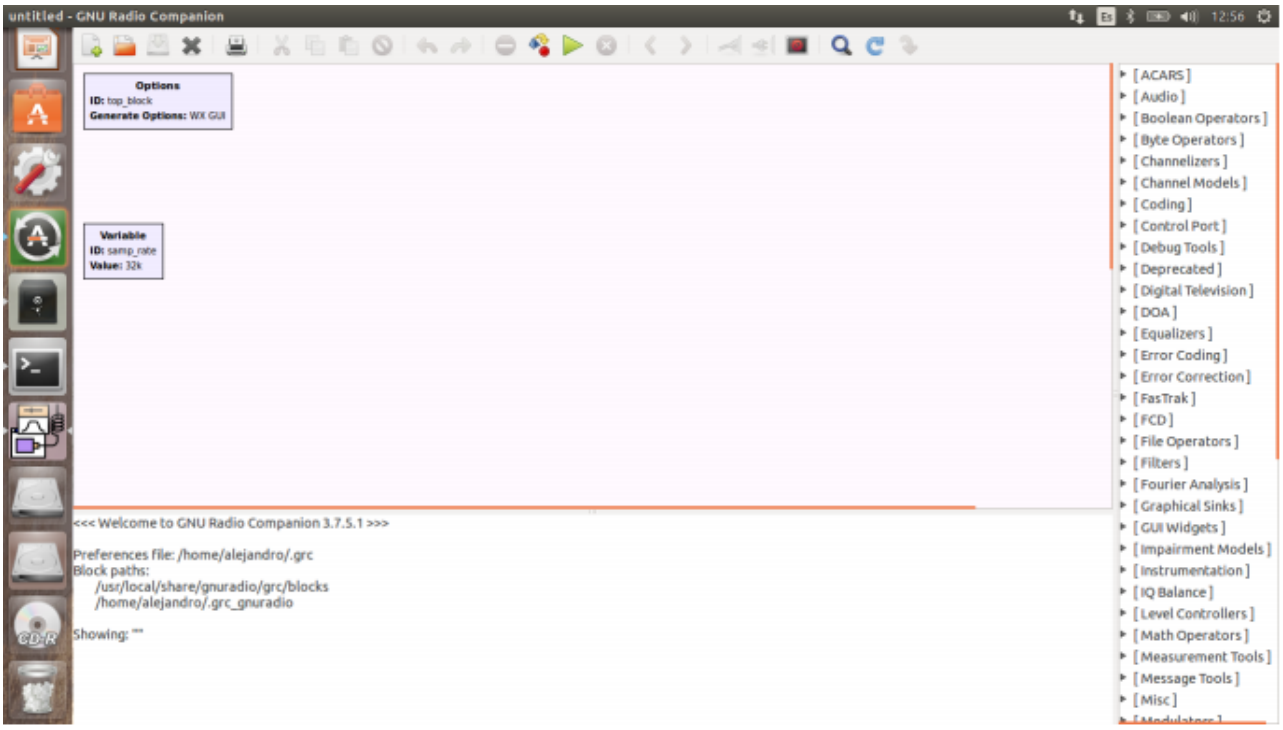


Figura 20. Pantalla de inicio GNU Radio en Linux

Módulos en GNU Radio

Para programar en GNU Radio hay dos formas, una es por librerías y usando Python y la otra es a través de la interfaz gráfica que provee el programa *GNU Radio Companion* o **GRC,** que es más bien la visualización de las librerías, ambas formas de programación poseen sus ventajas y complejidades, quizás un poco más la de Python porque es más código y no es tan amigable para alguien tan principiante en el tema.

Para diseñar módulos desde GNU Radio Companion, se programa a través de bloques, que se pueden crear o elegir de la librería del programa, una vez se diseñen los bloques la interfaz genera el código de Python correspondiente al diseño, este se podrá ejecutar fácilmente desde consola. Por otra parte, no está de más indicar que esta programación por bloques es muy similar a la programación desde Simulink en Matlab.

Las aplicaciones en GNU Radio por lo general se pueden interpretar como grafos donde cada nodo simboliza el bloque de procesado de señal creado por el usuario y las aristas serian entre estos bloques representan la conexión entre señales, la descripción grafica de esto se puede apreciar en la figura x.

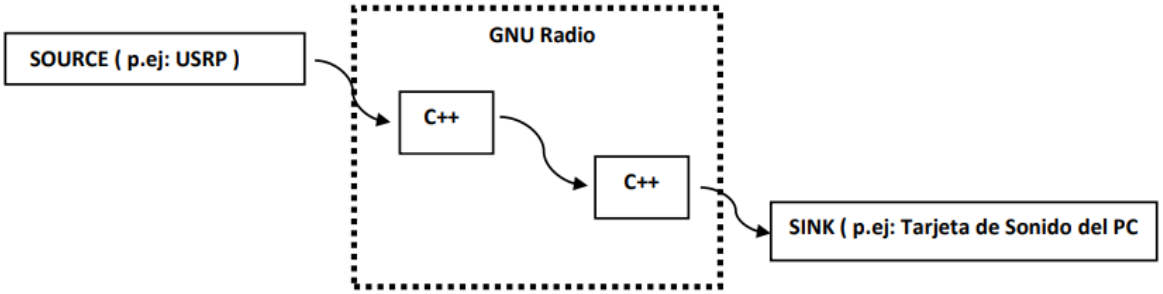


Figura 21. Representación gráfica del grafo para una implementación en GNU

Como se puede ver en la figura x, otro lenguaje que también admite GNU es C++, donde claramente toda la parte a bajo nivel se desarrolla en este lenguaje y Python se usa para conectar los bloques de comunicación, pues resulta más fácil trabajar en un lenguaje de alto nivel la parte en la que los usuarios interactúan directamente con el sistema, en pocas palabras los bloques en GNU son construidos en Python y a la funcionalidad de estos bloques se hace en C++.

2.2.4 NODE.JS LENGUAJE DE CÓDIGO ABIERTO

Node.JS es un entorno de desarrollo multiplataforma de código abierto creado en base al lenguaje de programación JavaScript. Está enfocado a la capa de servidor en tiempo de ejecución. Fue diseñado para construir aplicaciones web altamente escalables, controlado asincrónicamente por eventos permite manejar muchas conexiones con la ventaja de que una aplicación de Node.js se mantiene en reposo si no hay ninguna conexión que controlar sin detener la ejecución.

Esto en contraste a hoy, donde los modelos de desarrollo concurrente son más comunes y el uso de hilos de ejecución es difícil de usar teniendo encuentra que se debe prevenir y controlar los bloqueos en el procesador, con Node.JS ninguna función ejecuta procesos I/O procedimentalmente a menos que se especifique por lo que nunca ocurren bloqueos.

Node.JS está basado en el motor V8 de Google, inicialmente fue desarrollado para dar soporte a los navegadores basados en Chromium. Dado que está escrito en C++ también puede estar embebido en cualquier aplicación escrita originalmente en C++.

2.2.5 SDR (Software Defined Radio)

En general los circuitos de radiofrecuencia funcionan para un rango de frecuencias bastante limitado, con SDR (Software Defined Radio) sucede lo contrario, ya que en vez de usar hardware para definir las características de la onda se utilizan técnicas digitales de tratamiento de la señal,

de manera que se emulan los filtros, amplificadores, demoduladores, decodificadores, entre otros, lo cual permite que un receptor pueda abarcar un muy amplio espectro de frecuencias de onda.

A pesar de que estos conceptos se empezaron a desarrollar en la década de los 90 por Joseph Mitola III, se han empezado a extender en los últimos años debido a los altos costos que llega a tener el hardware para el procesamiento de señales. Actualmente hay bastante hardware compatible con SDR, en la siguiente tabla se puede ver una lista de algunos proporcionados por osmocom.org, sin embargo, el más utilizado es RTL-SDR, una tarjeta sintonizadora de TV digital RTL2832U.

VID	PID	tuner	device name
0x0bda	0x2832	all of them	Generic RTL2832U (e.g. hama nano)
0x0bda	0x2838	E4000	ezcap USB 2.0 DVB-T/DAB/FM dongle
0x0ccd	0x00a9	FC0012	Terratec Cinergy T Stick Black (rev 1)
0x0ccd	0x00b3	FC0013	Terratec NOXON DAB/DAB+ USB dongle (rev 1)
0x0ccd	0x00d3	E4000	Terratec Cinergy T Stick RC (Rev.3)
0x0ccd	0x00e0	E4000	Terratec NOXON DAB/DAB+ USB dongle (rev 2)
0x185b	0x0620	E4000	Compro Videomate U620F
0x185b	0x0650	E4000	Compro Videomate U650F
0x1f4d	0xb803	FC0012	GTek T803
0x1f4d	0xc803	FC0012	Lifeview LV5TDeluxe
0x1b80	0xd3a4	FC0013	Twintech UT-40
0x1d19	0x1101	FC2580	Dexatek DK DVB-T Dongle (Logilink VG0002A)
0x1d19	0x1102	?	Dexatek DK DVB-T Dongle (MSI DigiVox mini II V3.0)
0x1d19	0x1103	FC2580	Dexatek Technology Ltd. DK 5217 DVB-T Dongle
0x0458	0x707f	?	Genius TVGo DVB-T03 USB dongle (Ver. B)
0x1b80	0xd393	FC0012	GIGABYTE GT-U7300
0x1b80	0xd394	?	DIKOM USB-DVBT HD
0x1b80	0xd395	FC0012	Peak 102569AGPK
0x1b80	0xd39d	FC0012	SVEON STV20 DVB-T USB & FM

Figura 22. Lista de dispositivos desarrollador para uso de SDR

RTL-SDR tiene un rango de operación entre los 22 y los 2.2GHz y un ancho de banda máximo de 3.2MHz, está basado en la recepción de TDT, DAB y FM. Ya que conecta mediante USB a un computador se puede usar con cualquier software SDR al instalar un controlador USB y así obtener un dispositivo de bajo costo.

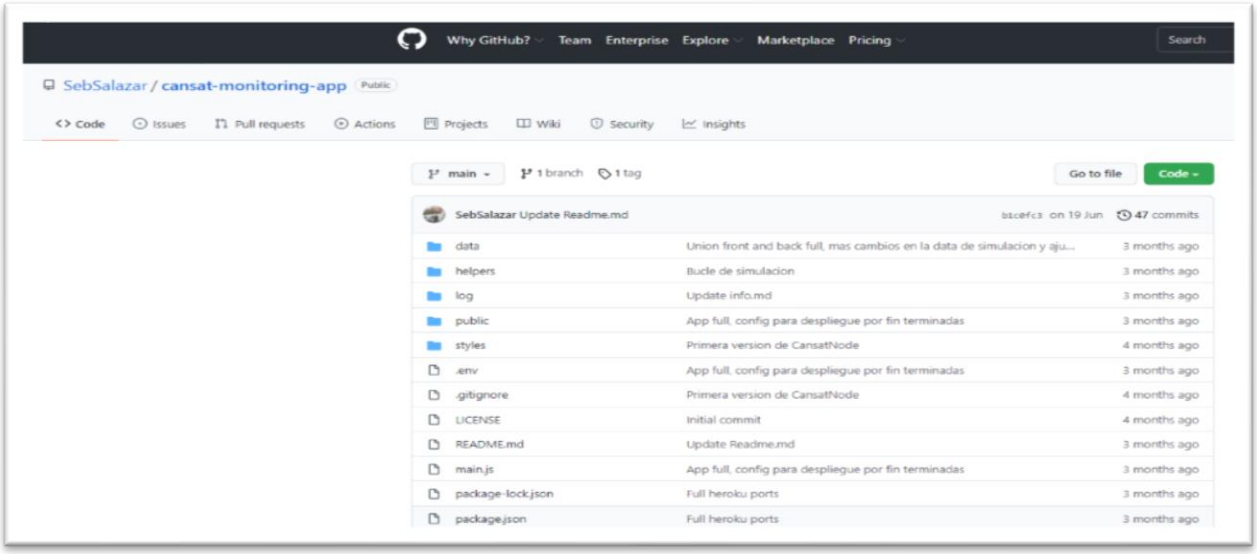
En general, en las tecnologías inalámbricas se puede usar el hardware con SDR como plataforma recibir datos de dispositivos emisores como satélites o redes de radio, sin embargo, la decodificación debe hacerse en la capa de aplicación donde se interpretan y debe considerarse individualmente según el sistema del que se quiere obtener información, por ejemplo, es diferente procesar la información de una estación de radio y un dispositivo IoT o un satélite

PARTE III

CAPITULO 3 PROPUESTA DESARROLLADA

3.1.Interfaz web para el seguimiento de satélites

Para el seguimiento de satélites se tuvo en cuenta el repositorio Github online gratuito que permite gestionar proyectos y controlar versiones de código.



En este repositorio https://github.com/SebSalazar/cansat-monitoring-app se encuentra el proyecto de la aplicación web de monitorización en tiempo real para satélites, dispositivos Cansat, totalmente hecho, integrando el anverso y reverso de los demás repositorios en una única aplicación funcional, cumpliendo con las buenas prácticas y realizando su despliegue en un hosting.

Aplicación terminada para el monitoreo en tiempo real de dispositivos de vuelo tipo Cansat, la app hace uso de Node para capturar por puerto serial los datos recogidos por un sistema tipo Cansat, algunos de estos datos que se tomaran en tiempo real son (Temperatura, localización, altitud, presión, datos de giroscopio (X,Y,Z), aceleración en los tres ejes, entre otros) ; luego se hace la limpieza y organización de estos datos, para luego enviarlos al cliente por Sockets y mostrarlos en un dashboard del aplicativo web construido en Angular.

Esta aplicación está hecha principalmente en (NodeJs - Backend), (Angular - Frontend) y usando paquetes importantes para el desarrollo como lo son: (Express, Websocket, dotenv) entre otros para el back y paquetes y consumo de APIs para el front como: (chart.js, leaflet, ngx, etc)

Se desarrolló una aplicación Web la cual permitirá monitorear los datos más comunes respecto al estado del satélite sintonizado cuando se desarrolle el mismo, siendo los siguientes:

- Ubicación
- Movimiento en caída libre
- Altura
- Velocidad
- Temperatura
- Aceleración en ejes X,Y,Z
- Presión barométrica
- Giroscopio

La aplicación fue desarrollada en 2 capas, la capa de aplicación construida en Angular.JS, lo cual permitía implementar fácilmente funcionalidades responsivas y de comunicación en tiempo de real con la capa de servidor.

La segunda capa es la capa de servidor, desarrollada en node.js funciona sobre un webSocket que permite el envío de la información capturada del satélite en tiempo real a múltiples clientes,

puede ser ejecutada en cualquier equipo con sistema operativo Windows o distribuciones de Linux basadas en debían, y que puedan funcionar como servidor.

Los requerimientos para el funcionamiento del módulo web son:

- Node.js v14.0.0 o superior
- Angular CLI v9.

Para el desarrollo de la aplicación se desarrolló una estación terrena con un prototipo de satélite Cansat, usando transceptores xBee se pudo generar los datos soportados por la aplicación para las fases de pruebas y así mismo determinar cómo deberían ser las entradas de los datos para mantener su correcto funcionamiento sin importar los protocolos del satélite interceptado por la estación terrena.

La estructura de datos soportada es una cadena de texto son los valores separados por coma (,), el orden de los datos debe ser el siguiente:

1. Id
2. Altitud
3. Velocidad
4. Temperatura
5. Presión barométrica
6. Pitch (inclinación en el eje Y)
7. Roll (inclinación en el eje X)
8. Yaw (Rotación en el eje Z)
9. Aceleración en el eje X
10. Aceleración en el eje Y
11. Aceleración en el eje Z

12. Latitud
13. Longitud
14. Estado de la batería

3.2. Seguimiento de satélites

Para el seguimiento de los satélites se usaron las aplicaciones ORBITRON[16] y GPREDICT[22], las cuales permiten hacer la trazabilidad de una gran cantidad de satélites de todo tipo, tomando como guía los satélites soportados por la librería GR_SATELITES[23], esta librería tiene documentadas las características de múltiples satélites donde incluye información sobre los protocolos usados para la modulación y codificación de los datos de cada satélite, además ofrece módulos para procesar estos datos en GNU radio[18], Python y ejecución de comandos en bash. La captura de los datos de los satélites de realizó mediante la estación terrena Farnham WebSDR[27], ubicada en la ciudad de Farnham, en Inglaterra ya que ofrece cobertura en las frecuencias de todos los satélites a los que se esperaba hacer trazabilidad, de acuerdo con la ubicación entregada por GPredict, se obtuvo la grabación de las señales para posteriormente decodificarlas con gr_satellites.

Los satélites CUBESATS a los que se le hizo trazabilidad fueron:

- BEESAT-1
    - Modulación FSK
    - Protocolo Mobitex-NC
    - 435.950 MHz
- SOMP-2B
    - Modulación FSK

    - Protocolo AX.25 G3RUH
    - 435.600 MHz
- AAUSAT 4
    - Modulación FSK
    - Protocolo AAUST-4
    - 437.425 MHz
- BEESAT-2
    - Modulación FSK
    - Protocolo Mobitex-NC
    - 435.950 MHz
- FIREBIRD 4
    - Modulación FSK
    - Protocolo AX.25 G3RUH
    - 437.220 MHz
- DELFI-C3
    - Modulación BPSK
    - Protocolo AX.25
    - 145.867 MHz
- UKUBE-1
    - Modulación DBPSK
    - Protocolo AO-40 FEC
    - 145.840 MHz
- GOMX 1

- Modulación FSK
- Protocolo AX.25 G3RUH
- 437.220 MHz

- STRAND-1
  - Modulación FSK
  - Protocolo AX.25 G3RUH
  - 437.586MHz

También se hizo trazabilidad de 3 satélites NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), estos satélites transmiten diferentes datos en varias frecuencias, a continuación, pueden encontrarse condensados en tablas todos los datos que envían estos satélites y en cual frecuencia capturarlos:

- NOAA 15

Service	Dir or Mode	Frequency	Bandwidth	Polarisation	D/A	Data rate or Baseband	Comments
CDA	S-E	2247.5 MHz	4000 kHz	RHCP	D	2660 kbps	Global and Local data (GAC and LAC)
HRPT	S-E	1702.5 MHz	4000 kHz	LHCP	D	665 kbps	Full information data
HRPT	S-E	1698 MHz	4000 kHz	RHCP	D	665 kbps	Full information data
HRPT	S-E	1707 MHz	4000 kHz	RHCP	D	665 kbps	Full information data
APT	S-E	137.5 MHz	38 kHz	RHCP	A	1.7 kHz	Reduced resolution images
APT	S-E	137.62 MHz	38 kHz	RHCP	A	1.7 kHz	Reduced resolution images
APT	S-E	137.1 MHz	38 kHz	RHCP	A	1.7 kHz	Reduced resolution images
APT	S-E	137.9125 MHz	38 kHz	RHCP	A	1.7 kHz	Reduced resolution images
DSB	S-E	137.35 MHz	46 kHz	RHCP	D	8.32 kbps	TIP data
DSB	S-E	137.77 MHz	46 kHz	RHCP	D	8.32 kbps	TIP data
DCP	E-S	401.65 MHz	4 kHz	RHCP	D	0.400 kbps	DCP reports
DCP	S-E	465.9875 MHz	5 kHz	RHCP	D	0.400 kbps	DCP commanding
S & RSAT	E-S	406.05 MHz	4 kHz	RHCP	D	0.400 kbps	Distress messages

Figura 23. Datos y frecuencias usados por NOAA 15[24]

- NOAA 18

Service	Dir or Mode	Frequency	Bandwidth	Polarisation	D/A	Data rate or Baseband	Comments
CDA	S-E	2247.5 MHz	4000 kHz	RHCP	D	2660 kbps	Global and Local data (GAC and LAC)
HRPT	S-E	1702.5 MHz	4000 kHz	LHCP	D	665 kbps	Full information data
HRPT	S-E	1698 MHz	4000 kHz	RHCP	D	665 kbps	Full information data
HRPT	S-E	1707 MHz	4000 kHz	RHCP	D	665 kbps	Full information data
APT	S-E	137.35 MHz	38 kHz	RHCP	A	1.7 kHz	Reduced resolution images
APT	S-E	137.77 MHz	38 kHz	RHCP	A	1.7 kHz	Reduced resolution images
APT	S-E	137.1 MHz	38 kHz	RHCP	A	1.7 kHz	Reduced resolution images
APT	S-E	137.9125 MHz	38 kHz	RHCP	A	1.7 kHz	Reduced resolution images
DSB	S-E	137.35 MHz	46 kHz	RHCP	D	8.32 kbps	TIP data
DSB	S-E	137.77 MHz	46 kHz	RHCP	D	8.32 kbps	TIP data
DCP	E-S	401.65 MHz	4 kHz	RHCP	D	0.400 kbps	DCP reports
DCP	S-E	465.9875 MHz	5 kHz	RHCP	D	0.400 kbps	DCP commanding
S & RSAT	E-S	406.05 MHz	4 kHz	RHCP	D	0.400 kbps	Distress messages

Figura 24. Datos y frecuencias usados por NOAA 18[25]

- NOAA 19

Service	Dir or Mode	Frequency	Bandwidth	Polarisation	D/A	Data rate or Baseband	Comments
CDA	S-E	2247.5 MHz	2000 kHz	RHCP	D	2660 kbps	Global and Local data (GAC and LAC)
HRPT	S-E	1702.5 MHz	4000 kHz	LHCP	D	665 kbps	Full information data
HRPT	S-E	1698 MHz	4000 kHz	RHCP	D	665 kbps	Full information data
HRPT	S-E	1707 MHz	4000 kHz	RHCP	D	665 kbps	Full information data
APT	S-E	137.35 MHz	38 kHz	RHCP	A	1.7 kHz	Reduced resolution images
APT	S-E	137.77 MHz	38 kHz	RHCP	A	1.7 kHz	Reduced resolution images
APT	S-E	137.1 MHz	38 kHz	RHCP	A	1.7 kHz	Reduced resolution images
APT	S-E	137.9125 MHz	38 kHz	RHCP	A	1.7 kHz	Reduced resolution images
DSB	S-E	137.35 MHz	46 kHz	RHCP	D	8.32 kbps	TIP data
DSB	S-E	137.77 MHz	46 kHz	RHCP	D	8.32 kbps	TIP data
DCP	E-S	401.65 MHz	4 kHz	RHCP	D	0.400 kbps	DCP reports
DCP	S-E	465.9875 MHz	5 kHz	RHCP	D	0.400 kbps	DCP commanding
S & RSAT	E-S	406.05 MHz	4 kHz	RHCP	D	0.400 kbps	Distress messages

Figura 25. Datos y frecuencias usados por NOAA 19[26]

CAPÍTULO 4 RESULTADOS

4.1. Resultados obtenidos:

Una vez realizado el desarrollo de la aplicación web para el seguimiento del estado de los satélites, se generó una primera versión estable y fácil de instalar, compatible con dos modalidades de funcionamiento, primero con datos reales que podía recibir en tiempo real a través de puerto serial o sockets, y el segundo un modo de prueba que genera datos aleatorios o los lee desde un archivo en formato .csv que funciona como repositorio de datos usando la misma estructura ya definida en la sección 3.1.

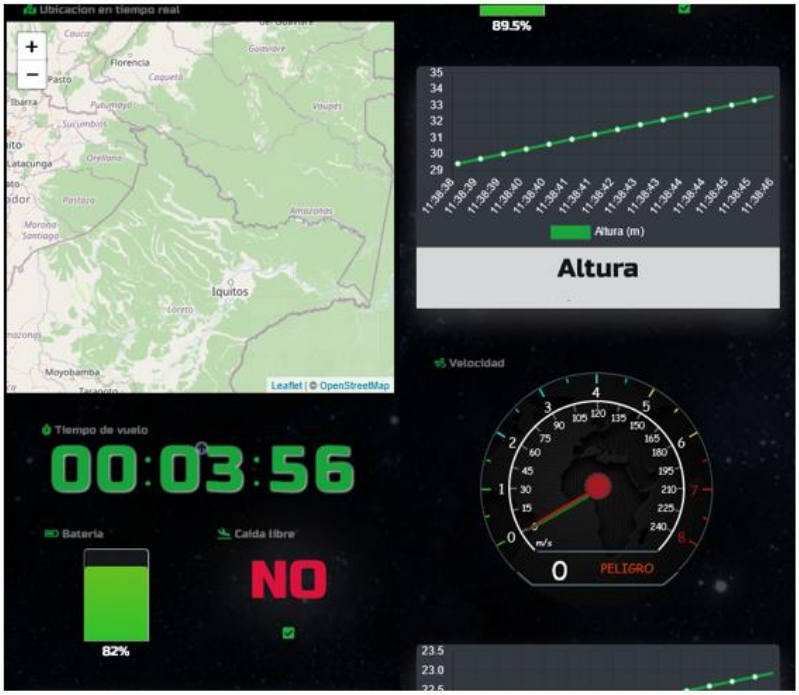


Figura 27.1. Capturas de la aplicación desarrollada en funcionamiento

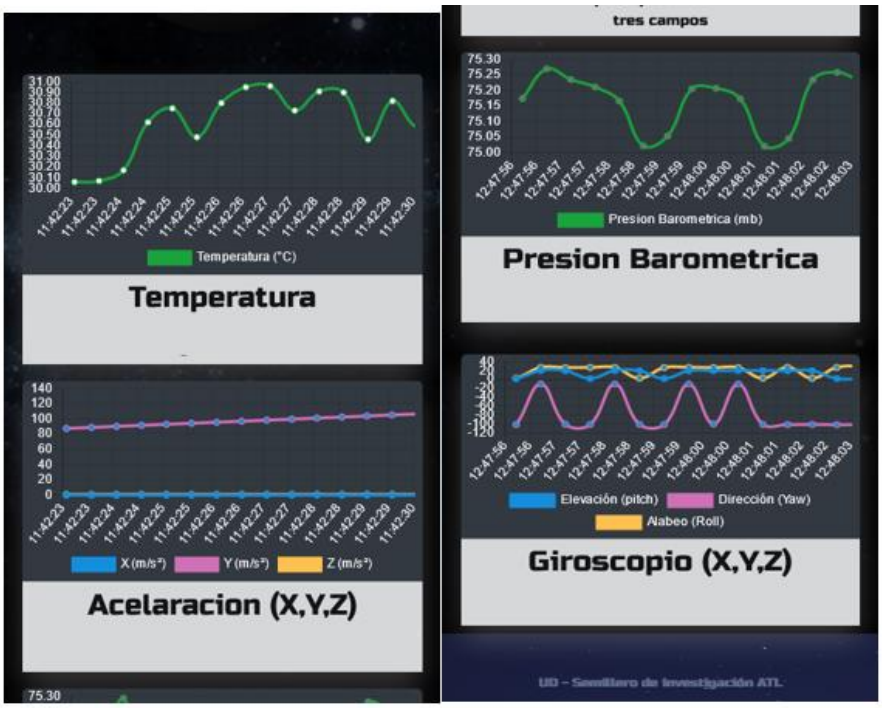


Figura 27.2. Capturas de la aplicación desarrollada en funcionamiento

Durante el seguimiento de los satélites con Gpredcit usando la estación terrena Farnham WebSDR[27], se obtuvieron las grabaciones de la señal de 4 satélites. Al intentar decodificar la señal de este satélite con gr_satellites por medio de consola de comandos al ser el medio más estable para la fase de pruebas antes de estructurar los datos de acuerdo a los soportado por la aplicación desarrollada se obtuvieron los resultados descritos a continuación usando la siguiente estructura del comando:

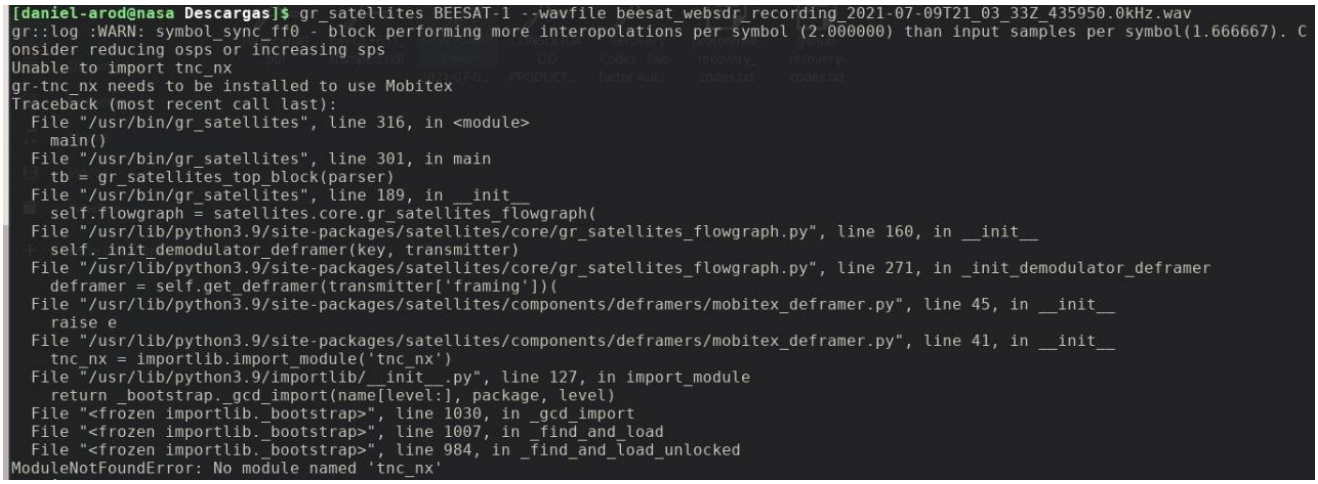
gr_satellites "nombre del satélite" –wavfile "nombre del archivo de la grabación"

Investigación de diversos satélites y captura de señales:

gr_satellites BEETSAT-1 –wavfile "beesat websdr_recording_2021-07-09T21 03 33Z_435950.0kHz.wav"

1. BEESAT-1

    - No fue posible en la investigación decodificar la señal debido a que requería el uso de MOBITEX de un módulo externo no incluido en gr_satelites.



```
[daniel-arod@nasa Descargas]$ gr_satellites BEESAT-1 --wavfile beesat_websdr_recording_2021-07-09T21_03_33Z_435950.0kHz.wav
gr::log :WARN: symbol_sync_ff0 - block performing more interopolations per symbol (2.000000) than input samples per symbol(1.666667). C
onsider reducing osps or increasing sps
Unable to import tnc_nx
gr-tnc_nx needs to be installed to use Mobitex
Traceback (most recent call last):
  File "/usr/bin/gr_satellites", line 316, in <module>
    main()
  File "/usr/bin/gr_satellites", line 301, in main
    tb = gr_satellites_top_block(parser)
  File "/usr/bin/gr_satellites", line 189, in __init__
    self.flowgraph = satellites.core.gr_satellites_flowgraph(
  File "/usr/lib/python3.9/site-packages/satellites/core/gr_satellites_flowgraph.py", line 160, in __init__
    self._init_demodulator_deframer(key, transmitter)
  File "/usr/lib/python3.9/site-packages/satellites/core/gr_satellites_flowgraph.py", line 271, in _init_demodulator_deframer
    deframer = self.get_deframer(transmitter['framing'])(
  File "/usr/lib/python3.9/site-packages/satellites/components/deframers/mobitex_deframer.py", line 45, in __init__
    raise e
  File "/usr/lib/python3.9/site-packages/satellites/components/deframers/mobitex_deframer.py", line 41, in __init__
    tnc_nx = importlib.import_module('tnc_nx')
  File "/usr/lib/python3.9/importlib/__init__.py", line 127, in import_module
    return _bootstrap._gcd_import(name[level:], package, level)
  File "<frozen importlib._bootstrap>", line 1030, in _gcd_import
  File "<frozen importlib._bootstrap>", line 1007, in _find_and_load
  File "<frozen importlib._bootstrap>", line 984, in _find_and_load_unlocked
ModuleNotFoundError: No module named 'tnc_nx'
```

Figura 28. Resultado de la ejecución para BEESAT-1

2. SOMP-2B

    - No se consiguió decodificar debido a que la estación terrena graba las muestras de 8000sps (muestras por segundo), el protocolo que establece gr_satelites para la demodulación necesita 9600sps.

```
[daniel-arod@nasa Descargas]$ gr_satellites SOMP-2B --wavfile SOMP_websdr_recording_2021-07-09T20_42_46Z_435600.0kHz.wav
Sample rate 8000 sps insufficient for 9600 baud FSK demodulation. Demodulator will not work.
```

Figura 29. Resultado de la ejecución para SOMP-2B

3. STRAND-1

    - Al igual que con la demodulación de SOMP-2B la demodulación requiere 9600 baudios para funcionar correctamente.

```
[daniel-arod@nasa Descargas]$ gr_satellites STRAND-1 --wavfile strand_1_websdr_recording_2021-07-09T21_09_11Z_437568.0kHz.wav
Sample rate 8000 sps insufficient for 9600 baud FSK demodulation. Demodulator will not work.
```

Figura 30. Resultado de la ejecución para STRAND-1

4. NOAA 18

    - Al decodificarlo se obtuvo como resultado un fragmento del mapa de la zona donde cruzaba el satélite.

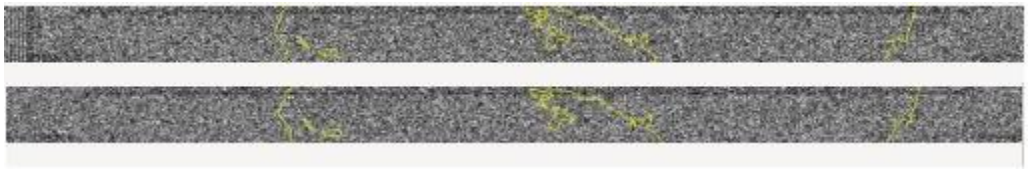


Figura 31. Resultado de la ejecución para NOAA18

5. AAUSAT-4

    - Se obtuvo el siguiente resultado al ejecutar el comando de gr_satellites

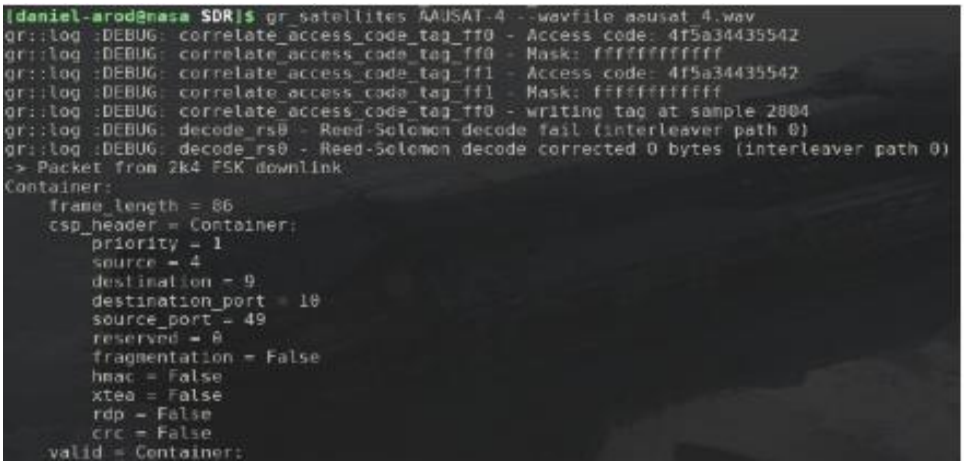


Figura 32. Resultado de la ejecución para AUUSAT-4

Capturas de diferentes satélites tomadas durante las pruebas realizadas con el HW SDR, mediante software libre Gpredict.

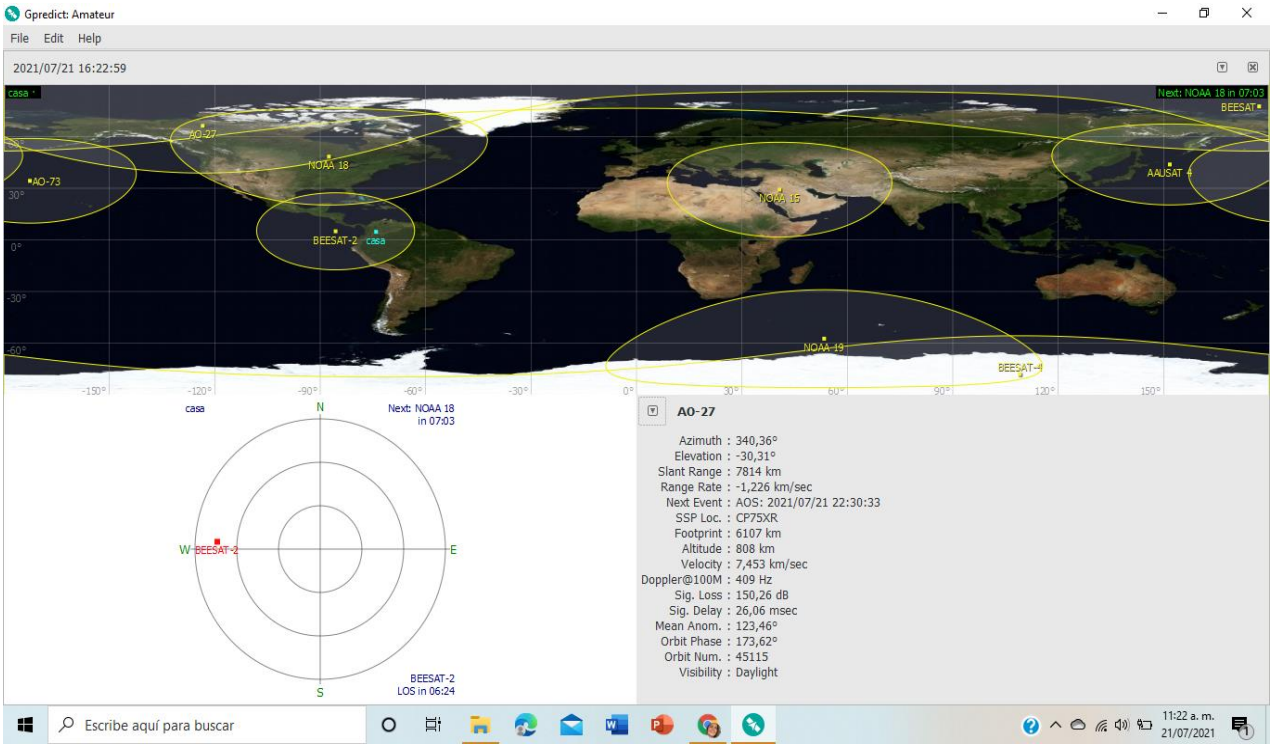


Figura 33. Satélite AO-27

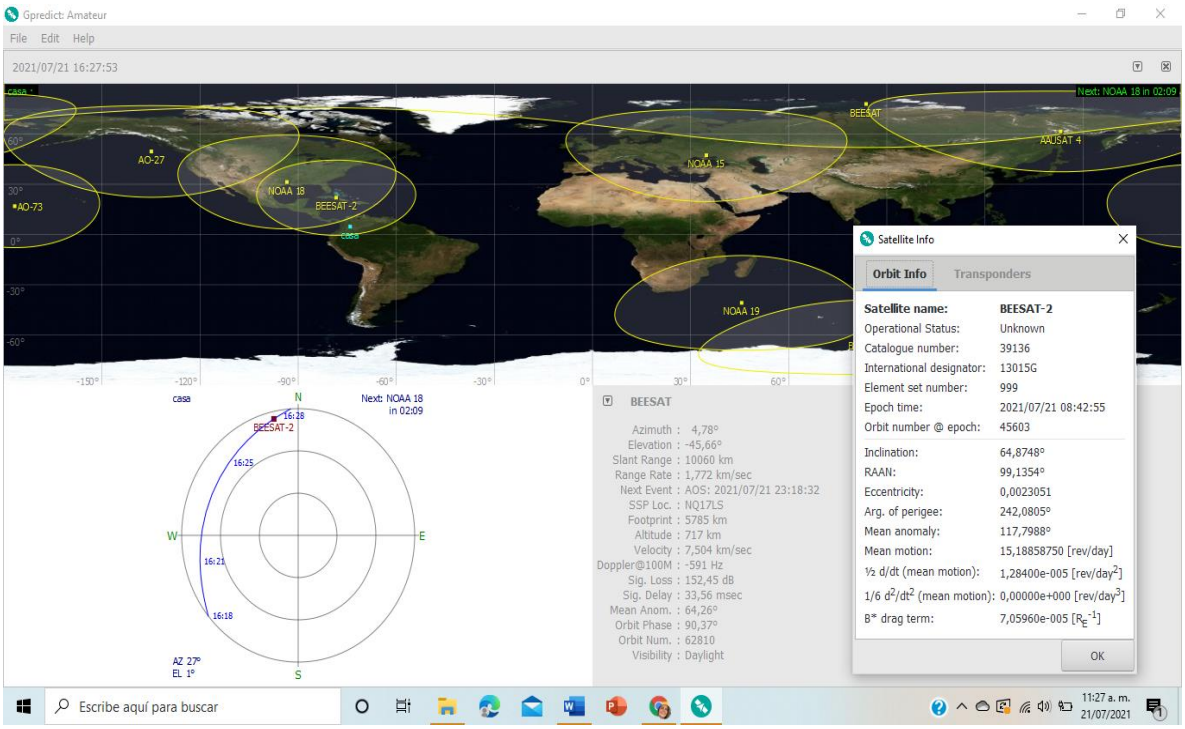


Figura 34. Satélite BEESAT-2

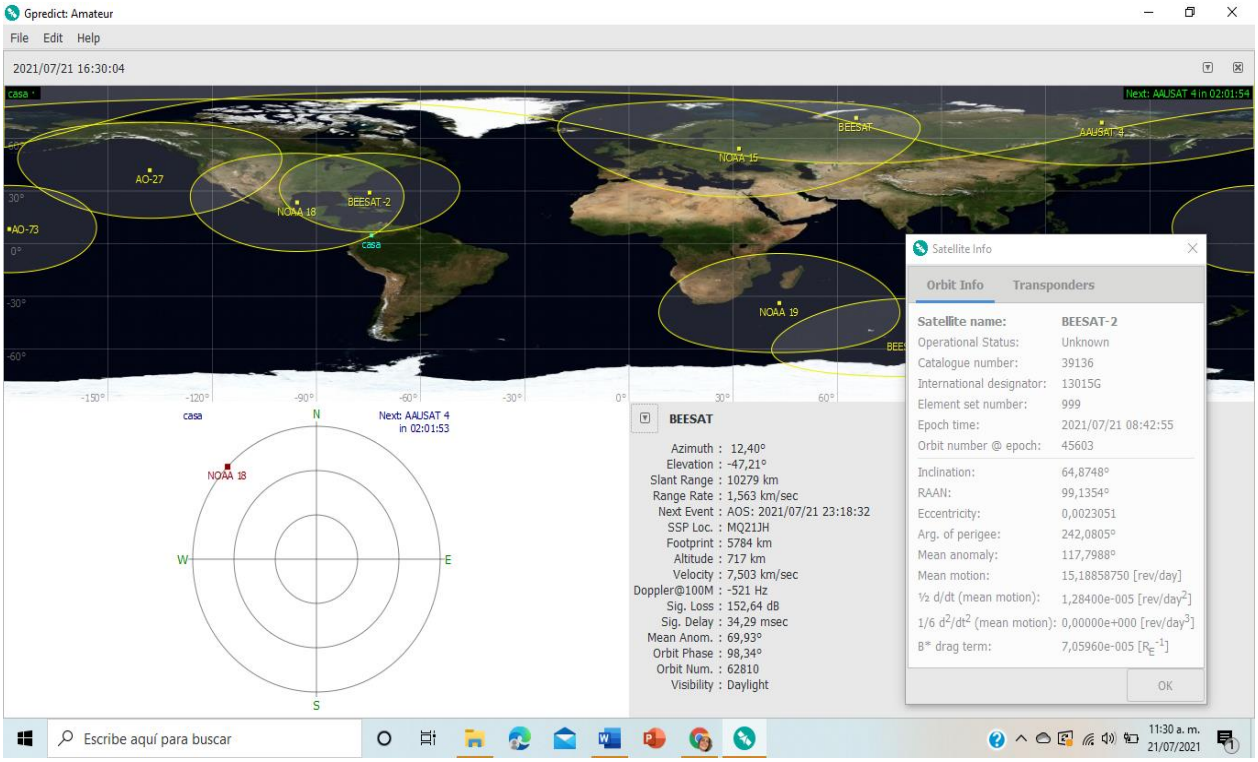


Figura 35. Satélite BEESAT-2

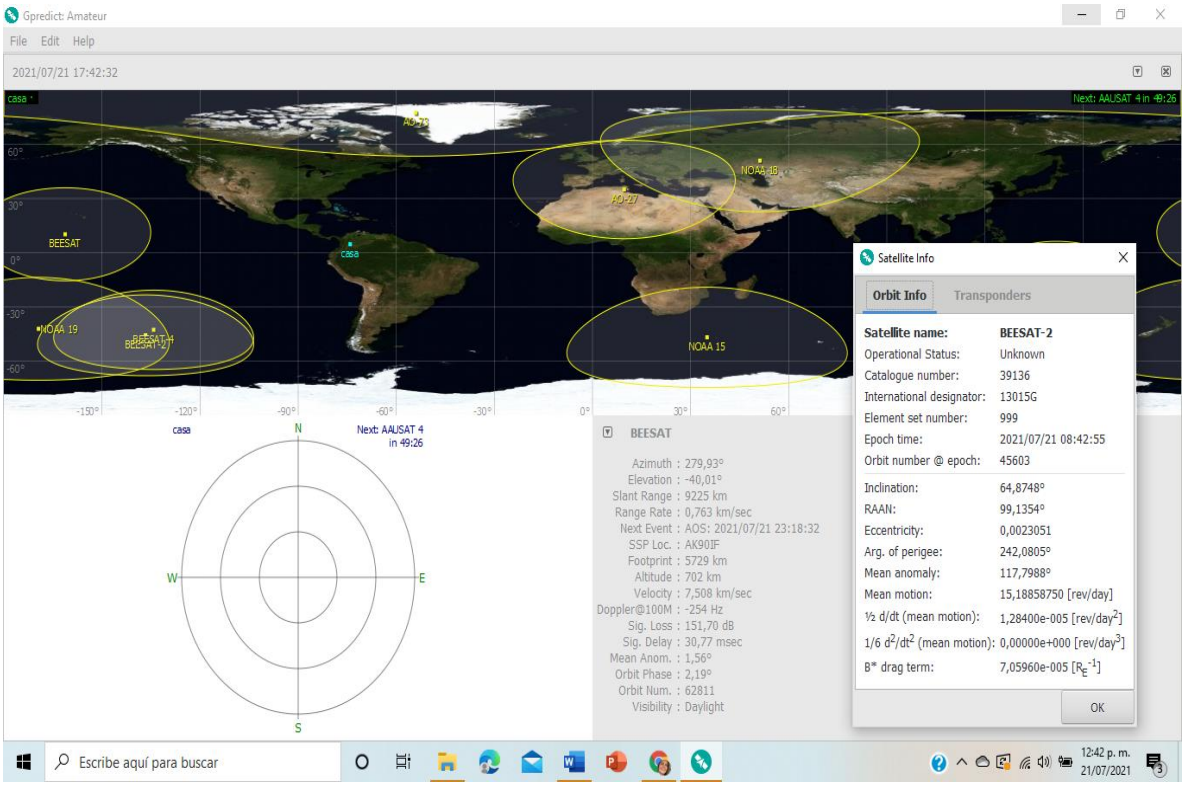


Figura 36. Satélite BEESAT-2

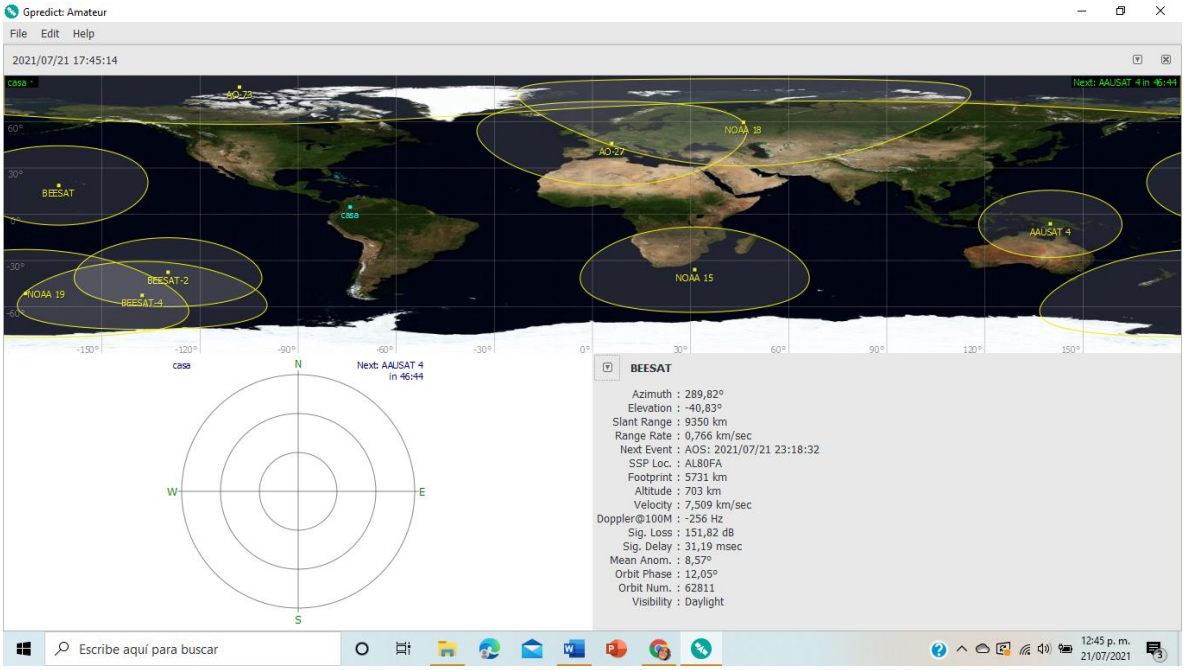


Figura 37. Satélite BEESAT

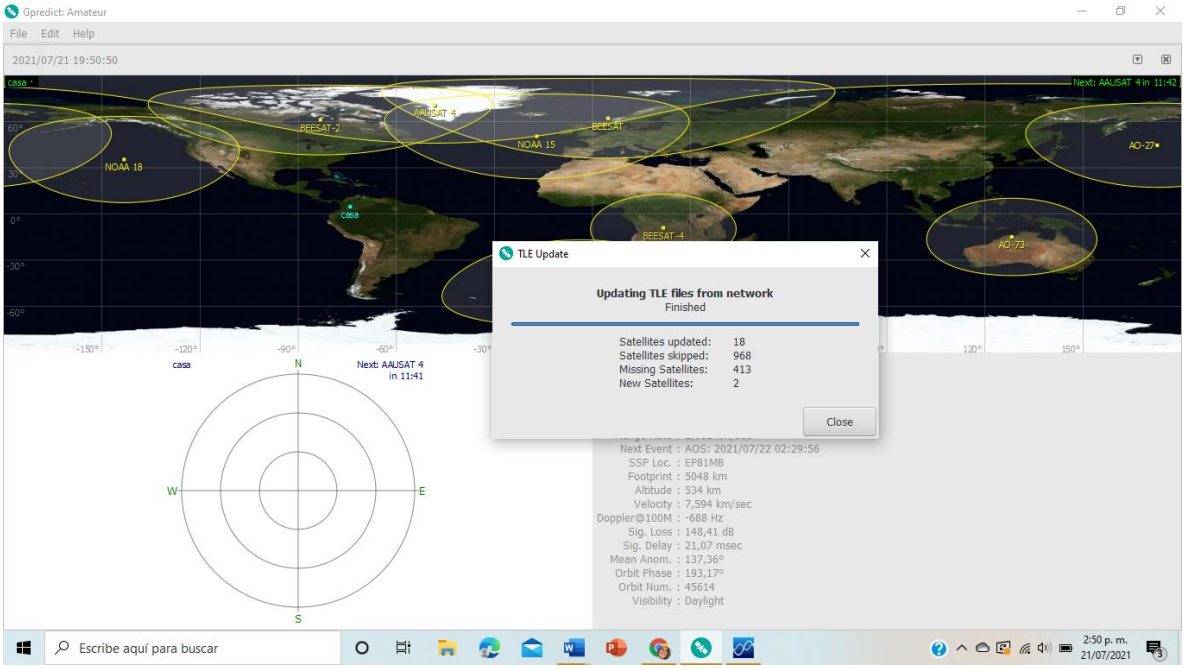


Figura 38. Satélite BEESAT-4

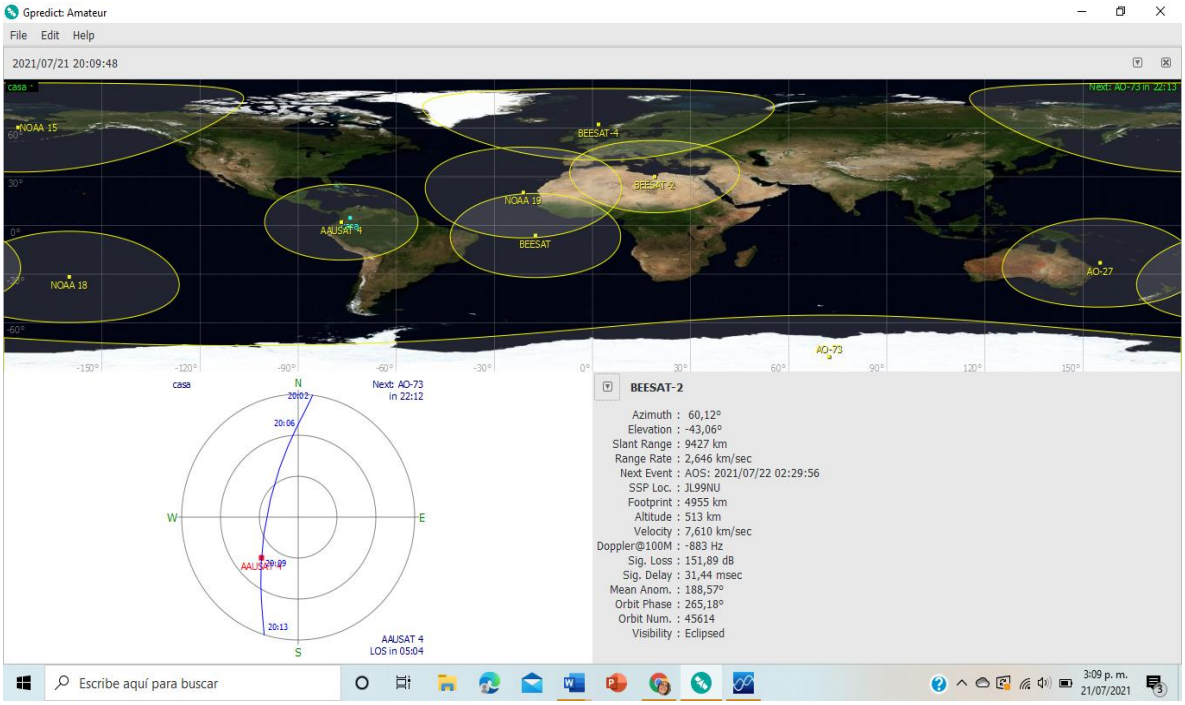


Figura 39. Satélite BEESAT-2

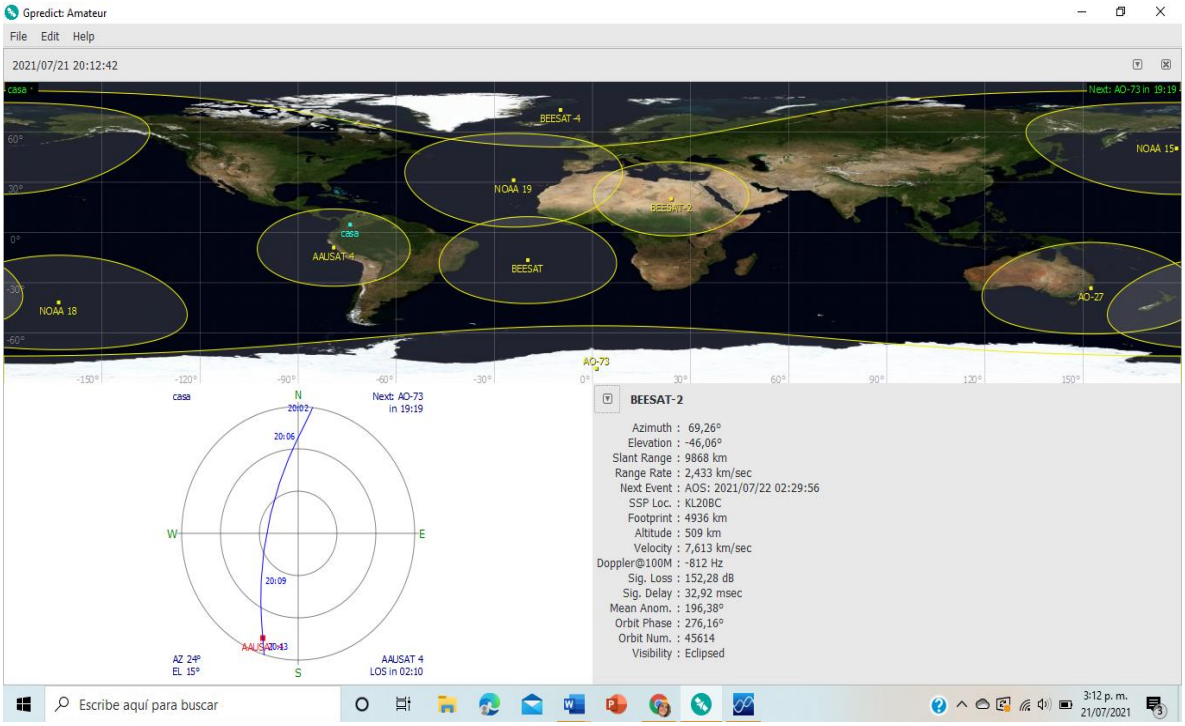


Figura 40. Satélite BEESAT-2

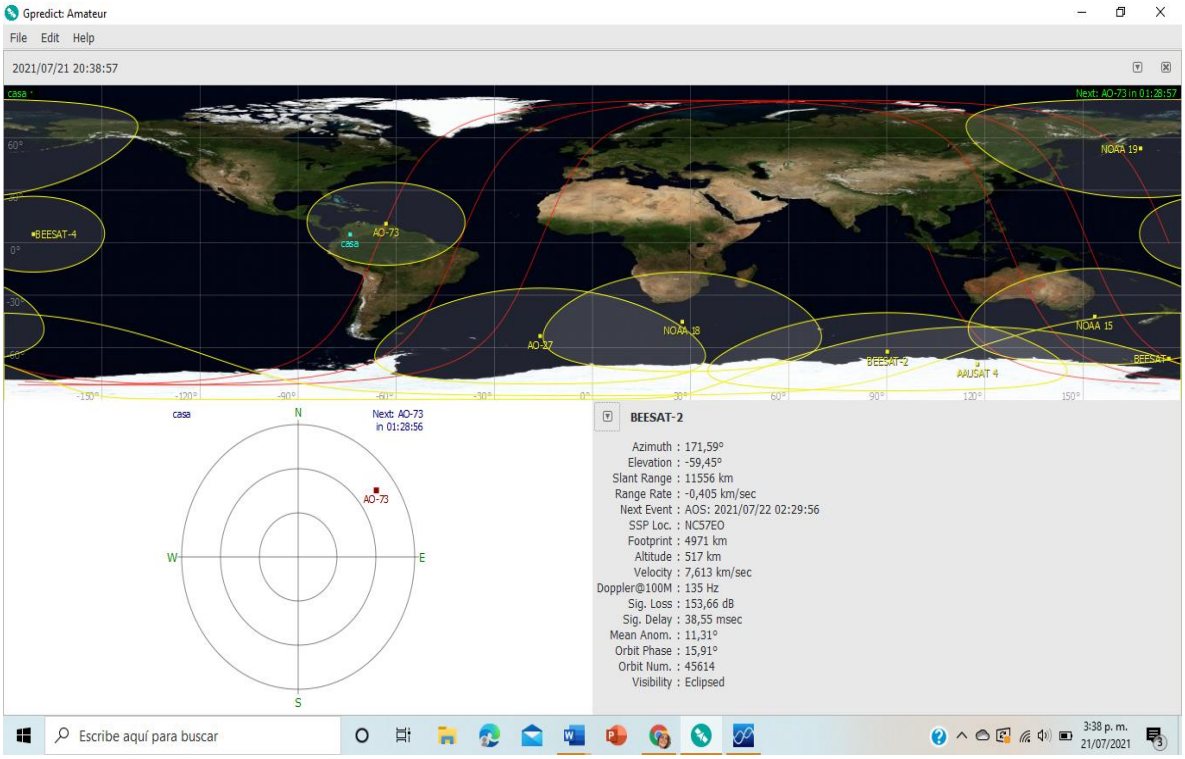


Figura 41. Satélite BEESAT-2

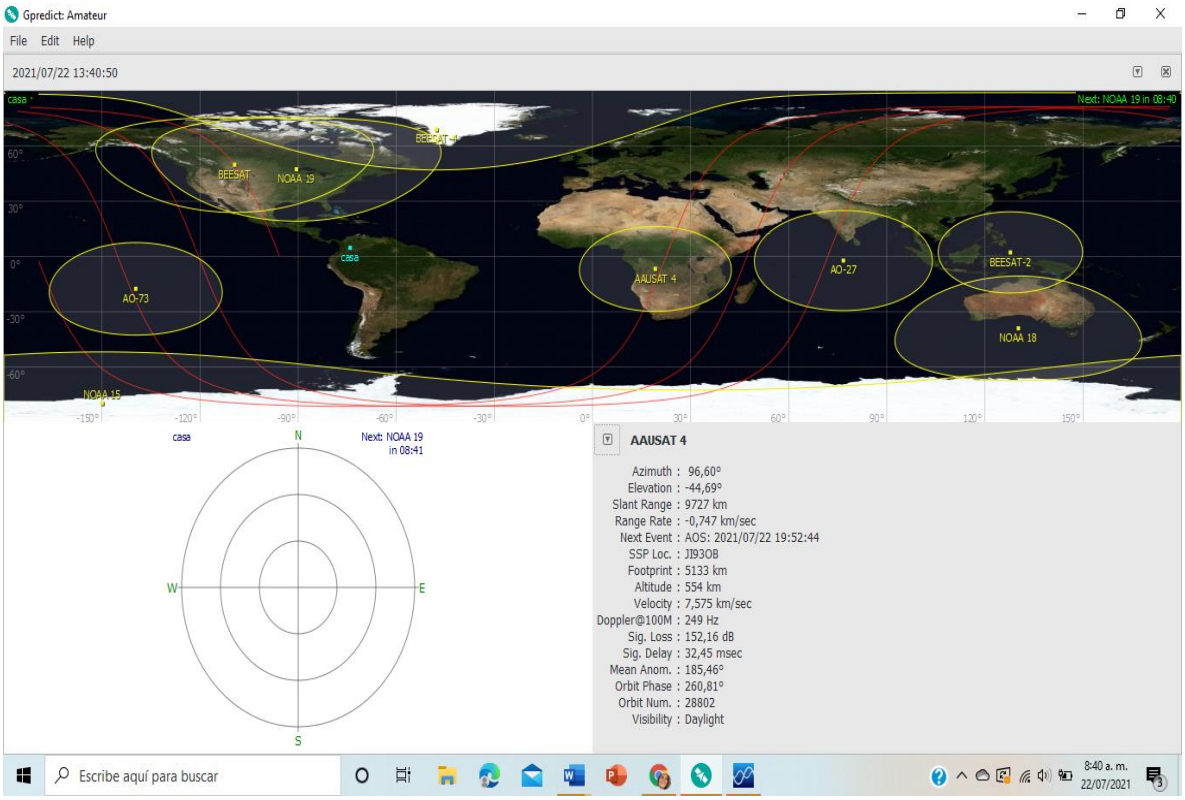


Figura 42. Satélite AAUSAT 4

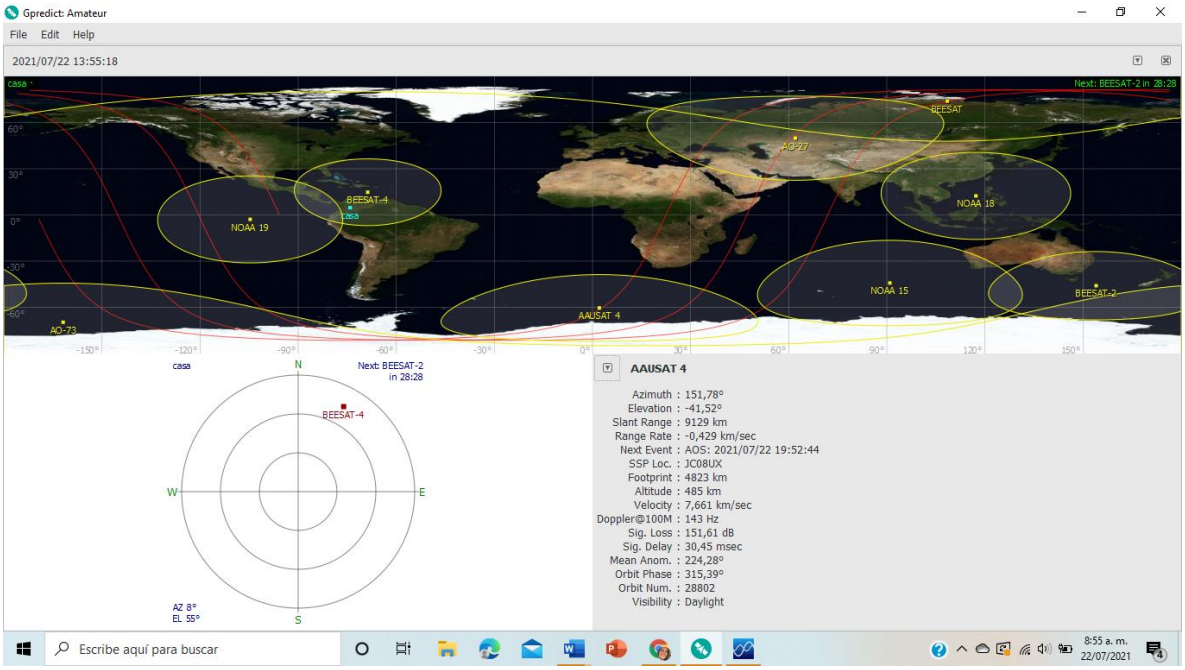


Figura 43. Satélite AAUSAT 4

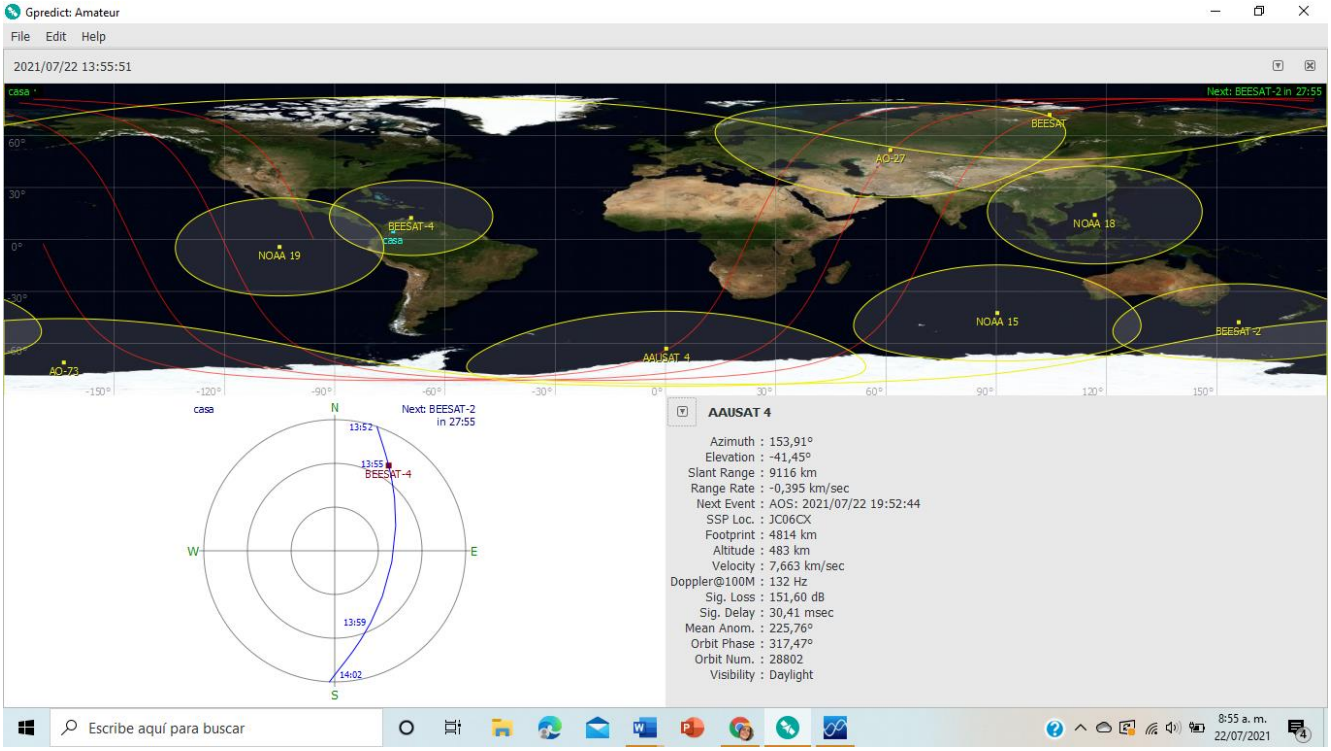


Figura 44. Satélite AAUSAT 4

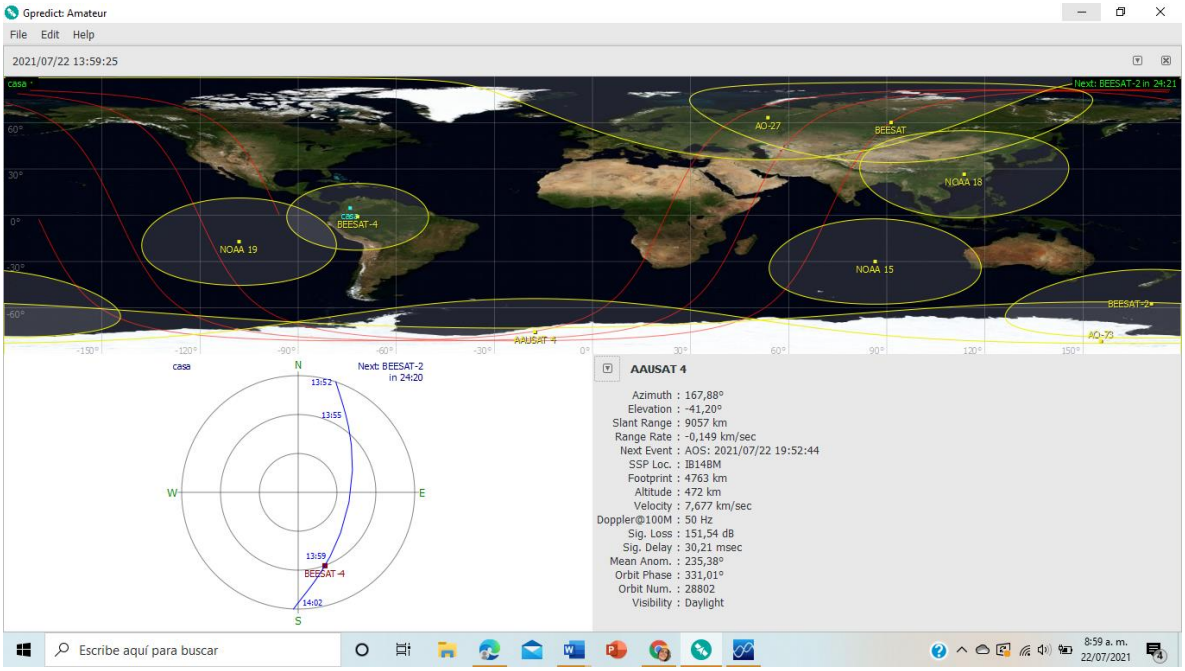


Figura 45. Satélite AAUSAT 4

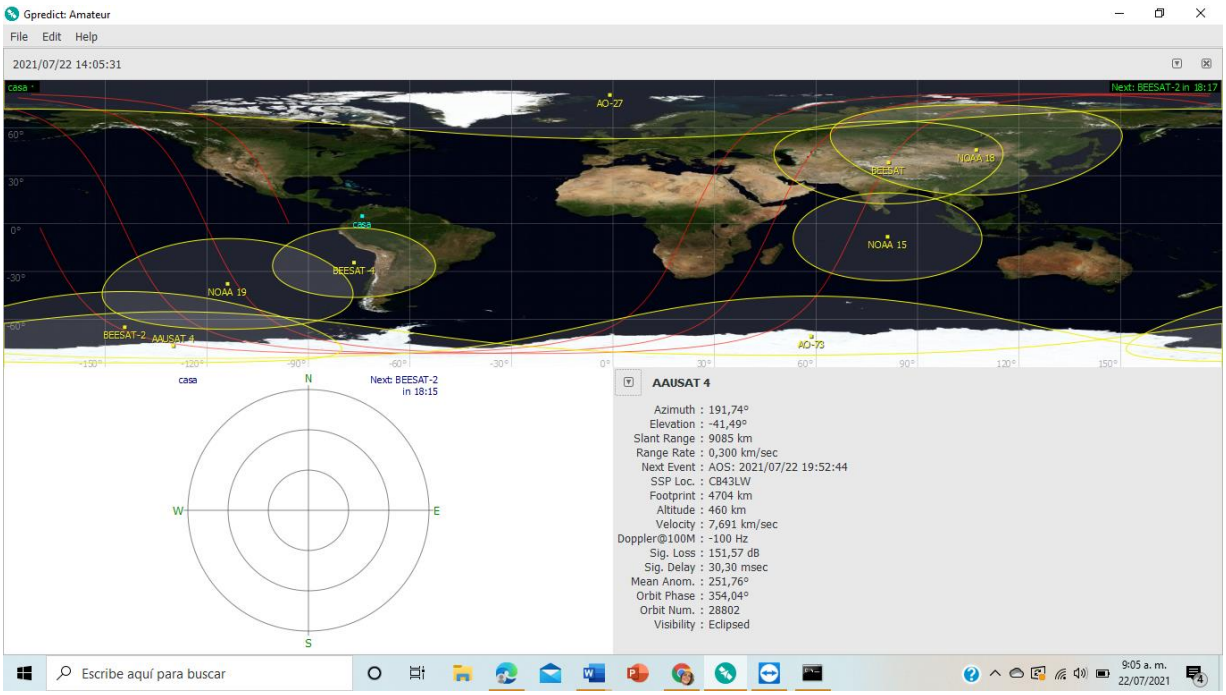


Figura 46. Satélite AAUSAT 4

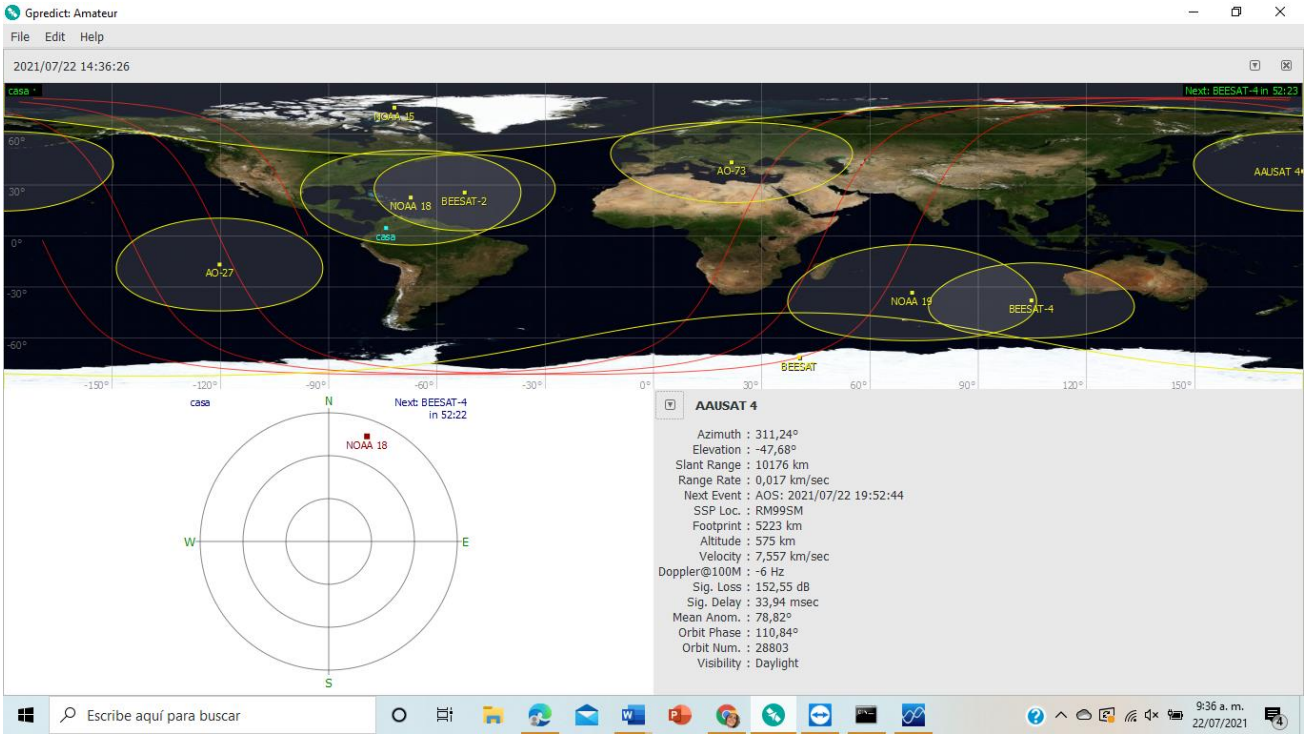


Figura 47. Satélite AAUSAT 4

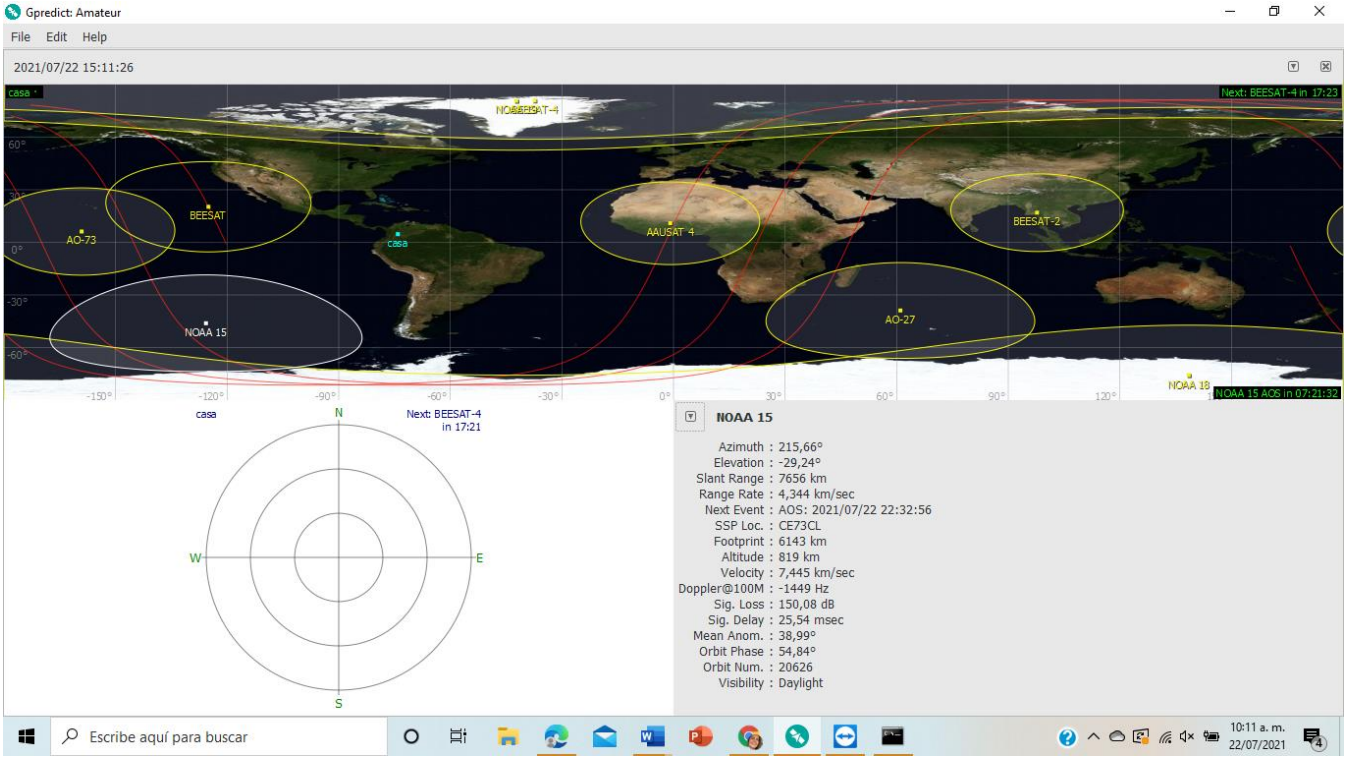


Figura 48. Satélite NOAA 15

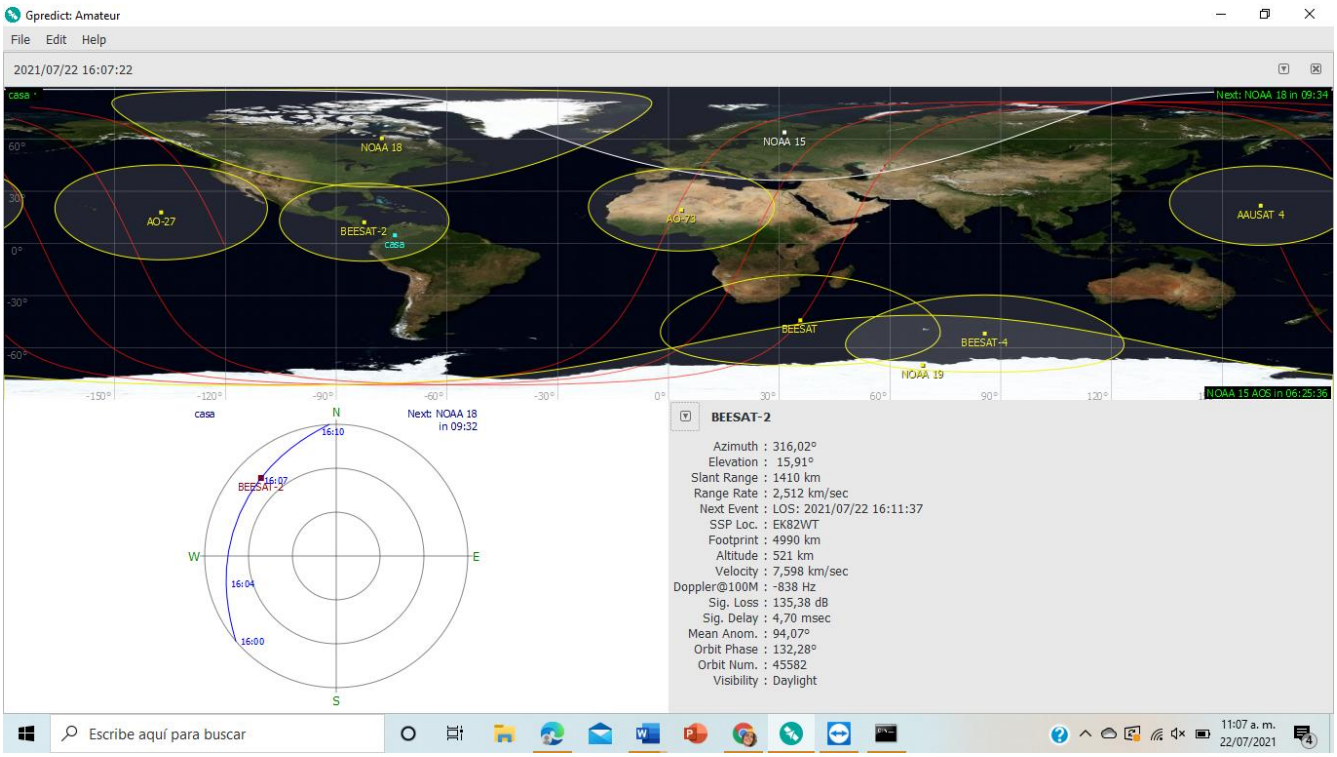


Figura 49. Satélite BEESAT-2

CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES Y TRABAJO A FUTURO:

5.1. Conclusiones

Los dispositivos portables SDR permiten sintonizar dispositivos en las frecuencias que soportan, sin embargo, las antenas con que vienen de fabrica estos dispositivos son de ganancia de 1dB no pueden recibir una señal eficiente emitida desde un dispositivo en la órbita LEO, ya que esta antena no tiene la suficiente ganancia para recibir los datos provenientes del espacio, por lo tanto en este proyecto se probaron diferentes antenas comerciales de bajo costo con el fin de lograr la mejor sintonización por medio de la interface SDR como alternativa para hacer el seguimiento de los satélites y obtener grabaciones de las señales para poderlas decodificar, es necesario elegir la estación terrena de bajo costo dependiendo de los parámetros de modulación y codificación que use el satélite que se desea seguir de manera que las muestras tomadas al realizar la grabación coincidan con el método de decodificación requerido.

Gracias al apoyo de aplicaciones de software libre como Orbitron o GPredict se puede hacer una trazabilidad de la ruta del satélite para poder tomar la grabación de los datos en el mejor momento posible, esto ayudó a determinar la efectividad de las antenas conectadas a los dispositivos SDR, teniendo los dispositivos adecuados el único costo elevado que se debe asumir para una estación terrena que pueda recibir información en tiempo real es la compra de una antena con una excelente ganancia, en el caso de no necesitar supervisar la información en tiempo real WebSDR es una muy buena alternativa ya que al conocer las rutas de los satélites gracias a las aplicaciones anteriormente mencionadas se puede grabar las transmisión mientras el satélite está en alcance para luego procesarla en la aplicación desarrollada.

Finalmente, el desarrollo de la aplicación web para el seguimiento de satélites permite condensar fácilmente la trazabilidad de los datos recibidos, al funcionar en línea se convierte en una herramienta de monitoreo de muy fácil acceso que permite a los estudiantes de escuelas colegios y universidades comprender los diferentes tipos de señales y satélites que están circulando en el espacio y aprender sobre tecnología aéreo espacial a bajo costo y motivar que estos desarrollos se puedan continuar en temas de investigación aplicada en este apasionante tema que aún no tiene tantos interesados en nuestro país.

5.2. trabajo a futuro

Todos los satélites tienen una estructura de datos diferentes, ya sea porque son desarrollados con diferentes objetivos o los sensores que implementan varían en sus funciones, la aplicación desarrollada puede ser expandida agregando graficas o medios de interpretación de datos diferentes a los ya soportados como lo pueden ser los mapas grabados por los satélites NOAA, condiciones climáticas, entre muchos otros. Así mismo como se puede ampliar la información renderizada en la aplicación, también es necesario catalogar las estaciones terrenas de WebSDR según los satélites que se espera decodificar, pues como se pudo ver en uno de los resultados de los intentos de decodificación, las grabaciones no siempre están en las condiciones adecuadas para procesarlas, por lo tanto, es importante determinar cuáles estaciones terrenas son adecuadas para cada satélite.

Bibliografía

[1] J. Hernández, «Diseño e implementación de un receptor parabólico para comunicaciones con satélites geoestacionarios y Orbitales,» 2012. [En línea]. Available: http://www.bibliodgsca.unam.mx/tesis/tes11johc/te11johc.htm.

[2] F. Fernández, «SDR: EQUIPOS DE RADIO DEFINIDOS POR SOFTWARE,» 2004. [En línea]. Available: http://www.ea1uro.com/sdr1/sdr.htm.

[3] H. Harada, «Simulation and Software Radio for Mobile Communications, » 2002. [En línea]. Available: https://books.google.com.co/books?id=amhNM01OKCUC&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false.

[4] W. Bonser, «International Symposium on Advanced Radio Technologies, » 1998. [En línea]. Available: https://www.its.bldrdoc.gov/media/30649/bons_s.pdf.

[5] P. Colla, «Radio Definida por Software,» 2015. [En línea]. Available: www.qsl.net/l/lu7did/docs/SDR/SDR_Apuntes_v1.1.doc.

[6] M. Cereceda, «Diseño y evaluación de un detector de energía para señales FM Wireless microphone en radio cognitiva,» 2011. [En línea]. Available: http://docplayer.es/19109815-Proyecto-final-de-carrera-diseno-y-evaluacion-de-un-detector-de-energia-para-senales-fm-wireless-microphone-en-radio-cognitiva.html.

[7] H. Márquez, «Arquitecturas de radio cognitiva: una revisión actual,» 2014. [En línea].

[8] D. García, «Implementación y configuración de un receptor de radio definido por software (SDR) para estudios de propagación,» 2012. [En línea]. Available: http://oa.upm.es/22874/1/INVE_MEM_2012_153627.pdf.

[9] J. Nel, «Analysis and design of cognitive radio networks and distributed radio resource management algorithms, » 2006. [En línea].

[10] A. m. systems, «SW Defined Radio, » 2012. [En línea]. Available: https://www.annapmicro.com/solutions/sw-defined-radio/.

[11] W. Yap, «Slideshare, » 2012. [En línea]. Available: https://www.slideshare.net/wenjiun/sl-14777621

[12] "CubeSat Design Specification REV 13 pdf"

[13] Aina Pallarès Albaladejo, «Integration of a Camera in the Femtosatellite Design Cycle and Assessment» 2014. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/profile/Joshua-Tristancho/publication/292992362_Integration_of_a_Camera_in_the_Femtosatellite_Design_Cycle_and_Assessment/links/56b4bb8308aec41daa2064cc/Integration-of-a-Camera-in-the-Femtosatellite-Design-Cycle-and-Assessment.pdf.

[14] "What is a Satellite?" [En línea]. Disponible en: https://www.space.com/24839-satellites.html

[15] Zambrano, A; Rincón, D, «ESTUDIO DE LA TECNOLOGÍA PICOSATÉLITE» 2019. [En línea].

Available:https://repositorio.unillanos.edu.co/bitstream/001/1609/1/ESTUDIO%20DE%20LA%20TECNOLOGIA%20PICOSATELITE.pdf

[16] "Orbitron - Satellite Tracking System". [En línea]. Disponible en: http://www.stoff.pl/

[17] "Trayectorias de Satélites - Manejo del programa Orbitron". [En línea]. Disponible en: https://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6140/mod_resource/content/1/Practica3_2009.pdf

[18] "GNU Radio is a Free & Open-Source Toolkit for Software Radio". [En línea]. Disponible en: https://www.gnuradio.org/

[19] Sánchez, A - "La Radio Definida Por Software: Recepción De Las Comunicaciones Tierra-Aire Dentro De La Banda Aeronáutica". 2015 [En línea]. Disponible en: https://core.ac.uk/download/pdf/41827343.pdf

[20] Ledesma, Carlos - "Vulnerabilidades usando SDR". 2014 [En línea]. Disponible en: https://core.ac.uk/download/pdf/62908435.pdf

[21] Domínguez, I; Murillo, Juan - "Comunicaciones Digitales Radio Definida por Software". 2011 [En línea]. Disponible en:https://personal.us.es/murillo/docente/Libros/LibroSDRV7USv8.pdf

[22] Alexandru Csete – "Gpredict Software". 2001 [En línea]. Disponible en: http://gpredict.oz9aec.net/

[23] Estévez, Daniel - "gr-satellites". 2015 [En línea]. Disponible en: https://github.com/daniestevez/gr-satellites

[24] World Meteorological Organization - “National Oceanic and Atmospheric Administration – 15. 1998 [En línea]. Disponible en: https://space.oscar.wmo.int/satellites/view/noaa_15

[25] World Meteorological Organization - “National Oceanic and Atmospheric Administration – 18. 2005 [En línea]. Disponible en: https://space.oscar.wmo.int/satellites/view/noaa_18

[26] World Meteorological Organization - “National Oceanic and Atmospheric Administration – 19. 2009 [En línea]. Disponible en: https://space.oscar.wmo.int/satellites/view/noaa_19

[27] Martin-G8JNJ, Noel G8GTZ (Noel Matthews), Phil M0DNY (Phil Crum). - “Farnham WebSDR”. 2009 [En línea]. Disponible en: http://farnham-sdr.com/

[28] Estévez, Daniel - “gr-satellites, GNU Radio command line decoder”. 2020 [En línea]. Disponible en: https://manpages.debian.org/experimental/gr-satellites/gr_satellites.1.en.html

[28] SpaceWorks - “NANO/MICROSATELLITE MARKET FORECAST 9na edición”. 2018 [En línea]. Disponible en: https://www.spaceworks.aero/wp-content/uploads/Nano-Microsatellite-Market-Forecast-9th-Edition-2019.pdf