



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN ALGORITMO PARA EL
PROCESAMIENTO DE SEÑALES SATELITALES UTILIZANDO LA
PLATAFORMA RADIO DEFINIDO POR SOFTWARE USRP

AUTOR

MAYRA CARINA MARTÍNEZ VELASCO

AÑO

2017



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN ALGORITMO PARA EL
PROCESAMIENTO DE SEÑALES SATELITALES UTILIZANDO LA
PLATAFORMA RADIO DEFINIDO POR SOFTWARE USRP

“Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos
establecidos para optar por el título de Ingeniera en Redes y
Telecomunicaciones”

Profesor Guía

MSc. Jorge Wilson Granda Cantuña

Autor

Mayra Carina Martínez Velasco

Año

2017

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el estudiante, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”.

Jorge Wilson Granda Cantuña
Master of Science Electrical Engineering
CC: 170859418-7

DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR

“Declaro haber revisado este trabajo, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”.

Ricardo Xavier Ubilla González
Magister en Telecomunicaciones
CC: 091756564-0

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaramos que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes”.

Mayra Carina Martínez Velasco

CC: 17424327-4

DEDICATORIA

El presente proyecto es dedicado a mi madre y hermanas quienes por su apoyo incondicional han provocado en mí el esfuerzo para seguir adelante y nunca retroceder frente a todos los caminos. Las palabras de aliento nunca faltaron.

RESUMEN

En el presente proyecto de titulación se desarrolla un algoritmo para analizar y mostrar datos recolectados desde el satélite NOAA. La interfaz diseñada y programada en NI LabView, donde las señales del satélite son tomadas desde la antena, usando un dispositivo USRP N2920, que permite la conversión y el transporte de las señales hacia la interfaz, siendo elaborado en la Universidad de las Américas para promover el desarrollo de proyectos en la misma línea de estudio.

La presente investigación despliega primero el marco teórico del proyecto, abarcando contenidos como los sistemas satelitales con una estructura de definiciones, características, funcionamiento y aplicaciones, de igual manera incluye una breve descripción de las herramientas a utilizar, siendo la interfaz Orbitron, NI LabView y el dispositivo USRP parte del proyecto.

La segunda fase concentra sus esfuerzos en las técnicas necesarias para el proyecto de titulación como es la metodología inductiva, estudio exploratorio y metodología experimental.

Dentro de la tercera fase, se elabora la parte teórica del proyecto, como el diagrama del sistema, herramientas, *software* que se utiliza para programar y finalmente se analiza el proceso de captación de resultados.

La investigación concluye con la descripción de las pruebas que validan la funcionalidad del algoritmo.

ABSTRACT

The present titling project had as objective the development of an algorithm which has the capacity to capture signals emitted from the NOAA satellite and to obtain useful information for different areas such as aviation, climatology, meteorology, etc.

In the first chapter, we start with the planning of the research, where the theoretical framework forms the basis. It is here where the terminologies, definitions, characteristics, operation and applications are detailed. Also includes a brief description of the tools used.

Subsequently, in the second phase the methodology used and their forms of application are exposed, being the methods used: inductive, exploratory and experimental.

With the two theoretical bases mentioned above, the execution phase follows. Third chapter, this section develops the core of this research. It starts with the design of the *software* and *hardware* for the creation of the algorithm, and the tracking to the NOAA satellite through the interface Orbitron, in order to generate the interface alerts and to obtain the information signals satisfactorily.

With the purpose of validating the algorithm, performance tests are carried out, the signal capturing process is observed and the results are analyzed.

Finally, we concluded the present research with satisfactory results, the use of elevated level materials allowed to capture de information using the NOAA satellite which was in the perimeter of coverage.

Índice

Introducción	1
1. Capítulo I Marco Teórico	2
1.1 Descripción.....	2
1.2 Sistema de Comunicaciones.....	2
1.3 Sistema de Comunicación Satelital	3
1.4 Elementos de un Sistema de Comunicación Satelital.....	3
1.4.1 Segmento Espacial	3
1.4.2 Estación Espacial	4
1.4.3 Sistema Satelital.....	4
1.4.4 Satélite	4
1.5 Componentes Externos	5
1.5.1 Subsistema de la Antena	5
1.5.2 Parámetros de la Antena.....	5
1.5.2.1 Ancho de Banda.....	5
1.5.2.2 Área Efectiva	6
1.5.2.3 Densidad de Potencia	6
1.5.2.4 Directividad	7
1.5.2.5 Ganancia de La Antena.....	7
1.5.2.6 Ancho de Haz.....	7
1.5.2.7 Impedancia.....	8
1.5.2.8 Patrón de Radiación.....	8
1.5.2.9 Polarización.....	9
1.5.3 Paneles Solares	10
1.5.4 Sistema de Propulsión	10
1.5.5 Transpondedor	10
1.6 Componentes Internos	11
1.7 Sistemas de Control de Posición	11
1.8 Reflectores Láser para Seguimiento (SLR).....	11
1.9 Sistemas de Telemetría	11

1.10 Sistemas de Telemando.....	12
1.11 Tipos de Satélite	12
1.11.1 Satélites Científicos.....	12
1.11.2 Satélites de Comunicación.....	12
1.11.3 Satélites Militares	12
1.11.4 Satélites de Navegación.....	12
1.11.5 Satélites Meteorológicos	12
1.11.5.1 Satélites de Órbita Polar	13
1.11.5.2 Satélites Geo-Sincrónicos	14
1.11.6 Satélites según su Órbita	14
1.11.6.1 LEO (<i>Low Earth Orbit</i>).....	14
1.11.6.2 MEO (<i>Medium Earth Orbit</i>).....	14
1.11.6.3 HEO (<i>Highly Elliptical Orbit</i>)	14
1.12 Parámetros de los Satélites	15
1.12.1 Frecuencia	15
1.12.2 Bandas de Frecuencia	15
1.13 Modulación	15
1.14 Demodulación.....	16
1.15 Métodos de Acceso.....	17
1.15.1 FDMA (Acceso Múltiple por División de Frecuencia)	17
1.15.2 CDMA (Acceso Múltiple por División de Código)	17
1.15.3 TDMA (Acceso Múltiple por División de Tiempo)	18
1.16 Cálculo del Enlace.....	18
1.16.1 Pérdidas Causadas por Cables.....	19
1.16.2 Ganancia.....	20
1.16.3 Pérdidas por Propagación.....	20
1.16.4 Densidad de Potencia	20
1.16.5 Potencia en el Receptor	21
1.16.6 Relación de Portadora a Densidad de Ruido	21
1.16.7 Relación de Portadora a Señal a Ruido	21
1.16.8 Cálculo para el Enlace de Bajada	21

1.16.9 Cálculo de Eficiencia Total del Sistema	22
1.17 Índice de Ruido	22
1.18 Densidad de Ruido	23
1.19 Segmento Terreno.....	23
1.19.1 Centro de Control.....	23
1.19.2 Estación Terrena.....	23
1.20 SDR <i>Software</i> Definido por Radio.....	24
1.20.1 Definición	24
1.20.2 Estructura.....	25
1.20.2.1 Sección RF.....	25
1.20.2.2 Sección IF	25
1.20.2.3 Sección Banda Base	25
1.20.3 Aplicaciones	25
1.21 Antena	27
1.21.1 Definición	27
1.21.2 Características Técnicas	27
1.22 USRP (<i>Universal Software Radio Peripheral</i>)	27
1.22.1 Definición	27
1.22.2 Estructura.....	28
1.22.2.1 ADC (Convertor Analógico Digital)	29
1.22.2.2 DAC (Convertidor Digital Analógico)	29
1.22.2.3 La Tarjeta FPGA	29
1.22.2.4 Características Técnicas	30
1.23 <i>Software</i> de Desarrollo de Sistemas NI LabView.....	30
1.23.1 Definición	30
1.23.2 Características	30
1.23.3 Estructura de LabView	31
1.23.3.1 Panel Frontal.....	31
1.23.3.2 Paleta de Controles.....	32
1.23.3.3 Diagrama de Bloques.....	33
1.23.3.4 Paleta de Funciones.....	33

1.23.3.5 Ayuda de Contexto.....	35
1.23.3.6 Panel de Herramientas.....	35
1.23.4 Estructura de Datos en LabView.....	36
1.23.5 Ejemplo en LabView.....	38
2. Capítulo II Metodología.....	39
2.1 Descripción.....	39
2.2 Método Inductivo.....	41
2.2.1 Observación.....	41
2.2.1.1 Captura de Señales Receptadas.....	41
2.2.1.2 Parámetros en el <i>Hardware</i>	44
2.2.1.3 Parámetros en el <i>Software</i>	47
2.3 Estudio Exploratorio.....	50
2.3.1 Filtros.....	52
2.3.1.1 Características.....	52
2.3.1.2 Tipos de Filtros.....	53
2.4 Método Experimental.....	54
3. Capítulo III Desarrollo.....	55
3.1 Diseño.....	55
3.1.1 Diagrama de Bloques del Diseño.....	56
3.1.2 Elementos que Intervienen.....	56
3.1.2.1 Satélite NOAA 18.....	56
3.1.2.2 Interfaz Orbitron.....	57
3.1.2.3 Antena SMA.....	57
3.1.2.4 NI USRP 2920.....	58
3.1.2.5 NI LabView.....	59
3.1.3 Cálculos y Configuración.....	59
3.1.3.1 Cálculos del Enlace del Satélite NOAA 18 – NI USRP 2920.....	59
3.1.3.2 Instalación y Configuración de Orbitron.....	63
3.1.3.3 Instalación y Configuración de NI USRP 2920.....	84
3.1.3.4 Configuración Inicial.....	94
4. Capítulo IV Pruebas.....	111

4.1 Planificación de Pruebas.....	112
4.1.1 Materiales.....	112
4.1.2 Guía de Pruebas	112
4.1.2.1 Escenario de Pruebas.....	112
4.1.2.2 Laboratorio	114
4.1.2.3 Número de Pruebas.....	114
4.2 Pruebas	116
4.2.1 Pruebas Iniciales de Configuración y Funcionamiento.....	116
4.2.2 Pruebas de Ejecución	119
4.2.2.1 Pruebas de Filtros	119
4.2.2.2 Pruebas de Comparación entre Satélites NOAA 15 y NOAA 18	143
4.2.2.3 Comparación de Cálculos teóricos y prácticos.....	148
4.3 Resultados.....	150
5. Conclusiones y recomendaciones.....	151
5.1 Conclusiones.....	151
5.2 Recomendaciones	152
Referencias.....	153
Anexos	155

INTRODUCCIÓN

Los primeros satélites lanzados en el espacio tuvieron propósitos meteorológicos, pero actualmente existen constelaciones de satélites que brindan múltiples servicios y no sólo en el campo científico, también ofrecen comunicaciones reales, transmisiones directas, telefonía, televisión y un sin fin de servicios personalizados, formando redes de comunicación más interactivas con el mundo.

Las comunicaciones satelitales están disponibles de manera directa y permanente para brindar servicios acordes a la demanda de sus clientes, y dentro del Ecuador no puede existir una excepción ya que, al momento de trabajar con señales satelitales, se debe buscar innovación y eficiencia para ser parte de nuevos propósitos en el campo satelital.

Las nuevas ideas que involucra la tecnología satelital, en un mundo globalizado han brindado al país oportunidades de obtener buenos resultados en este campo, como por ejemplo proyecto EXA (Agencia Espacial Civil Ecuatoriana).

Motivo que inspira al desarrollo e implementación de un algoritmo para procesar señales satelitales provenientes de NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) con el funcionamiento y aplicaciones de la tecnología *Software Definido por Radio* y NI LabView (*Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*). Aportando a la sociedad, un modelo de referencia que se acople a otras tecnologías actuales y explotarlas para cambiar la visión de un país con respecto al uso de la tecnología satelital.

1. Capítulo I Marco Teórico

1.1 Descripción

A continuación se detallan los temas considerados a lo largo del proyecto de titulación como: Tecnología Satelital, *Software Defined Radio* en adelante “SDR”, las herramientas para la ejecución la interfaz Orbitron, el dispositivo *Universal Software Radio Peripheral* en adelante “USRP” y para la programación el *Software* de Desarrollo de Sistemas NI LabView (*Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*), donde se incluyen definiciones, características, diseño, funcionamiento y aplicaciones.

1.2 Sistema de Comunicaciones

El desarrollo de un sistema de comunicación comprende un conjunto de elementos relacionados para el funcionamiento básico que es transmitir y recibir información hacia uno o varios destinos, se compone de los siguientes elementos como se observa en la Figura 1.

Transmisor: es el elemento que dispone de circuitos portadores para procesar la señal y ser enviados a su destino.

Medio de transmisión o canal: es el medio de comunicación guiado o no guiado entre el transmisor y el receptor.

Receptor: recibe la señal pasando por una etapa de procesamiento con el fin de obtener una señal similar a la original.

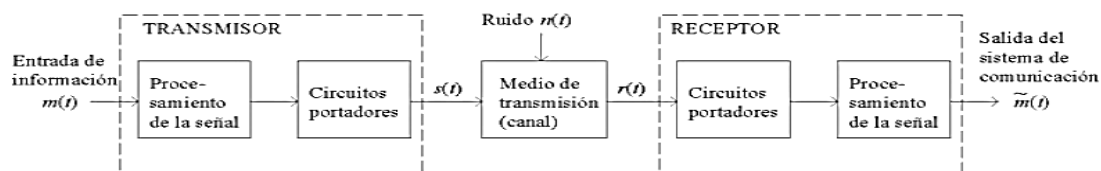


Figura 1. Sistema de Comunicación
Tomado de: (González Hernández, s.f)

Dentro del área de las Telecomunicaciones, se citan algunos ejemplos de sistemas como: el Sistema de Microonda, Sistema de Telefonía Móvil y Sistema Satelital.

1.3 Sistema de Comunicación Satelital

Se compone por elementos ubicados en el espacio y en la Tierra, de manera más precisa tiene un segmento espacial y segmento terreno que incluyen vehículos espaciales, estaciones terrenas y antenas para la radiocomunicación, como se visualiza en la figura 2.

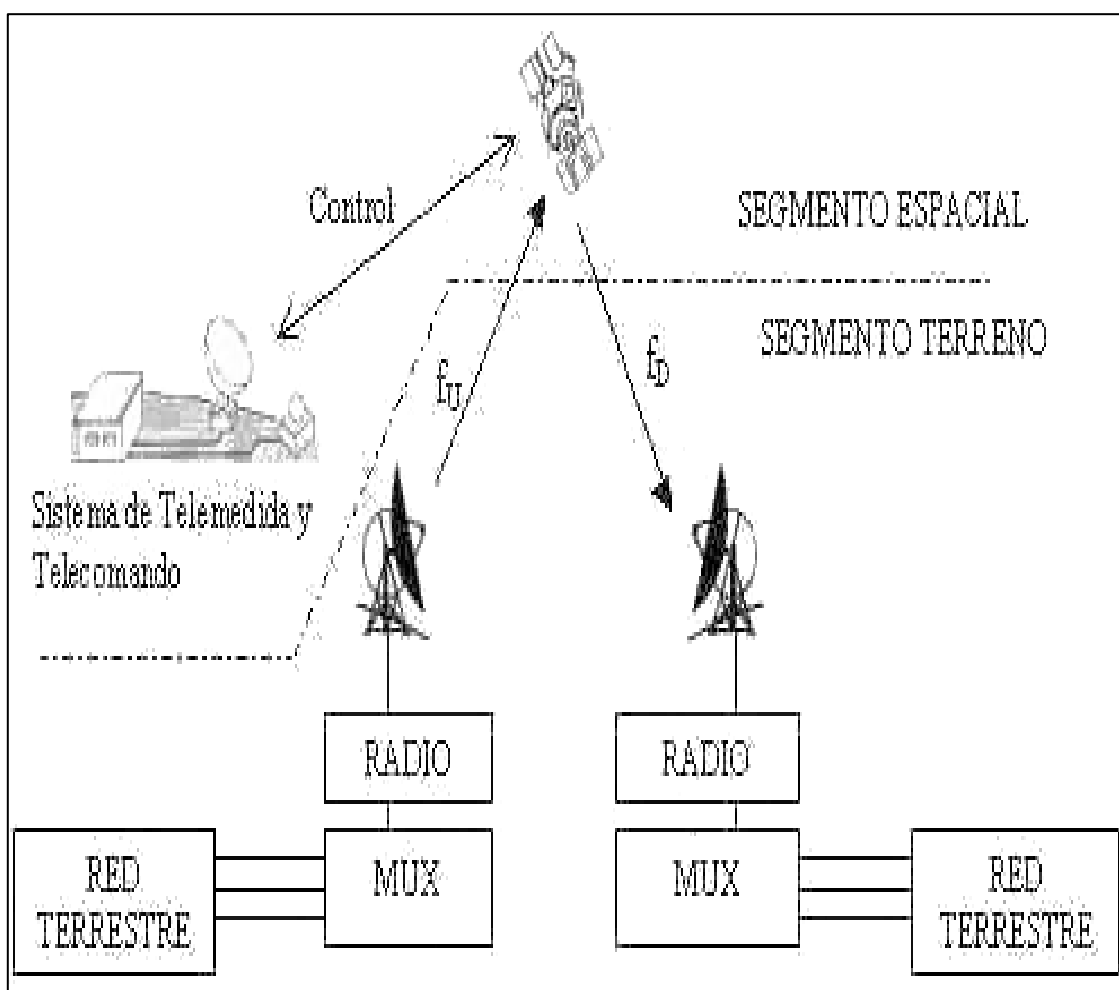


Figura 2. Elementos de un sistema de comunicación Satelital
Tomado de (Interior, 2017)

1.4 Elementos de un Sistema de Comunicación Satelital

1.4.1 Segmento Espacial

El segmento espacial es una extensión que asocia la carga útil y la plataforma de soporte, para la transmisión y recepción de señales radioeléctricas dirigidas hacia la Estación Terrena.

Contiene constelaciones de satélites ubicados en el espacio que permiten la radiocomunicación. Se pueden encontrar los siguientes elementos de un sistema de comunicación satelital:

1.4.2 Estación Espacial

Es la base de control para realizar investigaciones de carácter científico, contiene laboratorios, módulos y un observatorio.

- En los laboratorios se enfocan en proyectos como:
- Vida en la gravedad
- La naturaleza espacial
- Observaciones hacia el planeta Tierra

1.4.3 Sistema Satelital

Se compone por una constelación de satélites conectados en red para retransmitir y recibir señales obtenidas desde las estaciones del espacio o estaciones de la Tierra.

1.4.4 Satélite

Es un objeto que se encuentra en órbita rodeando a la Tierra en forma circular o elíptica, con el objetivo de proporcionar información bajo ciertos parámetros de diseño, comúnmente elaborado desde centros de investigación científica con fines climáticos, navegación, comunicación o investigación.

El satélite al componerse por la carga útil procesa las señales de manera que se apoya con una plataforma para que exista interacción entre ambas partes y se mantenga la comunicación.

Las partes internas del satélite se detallan en la figura 3.

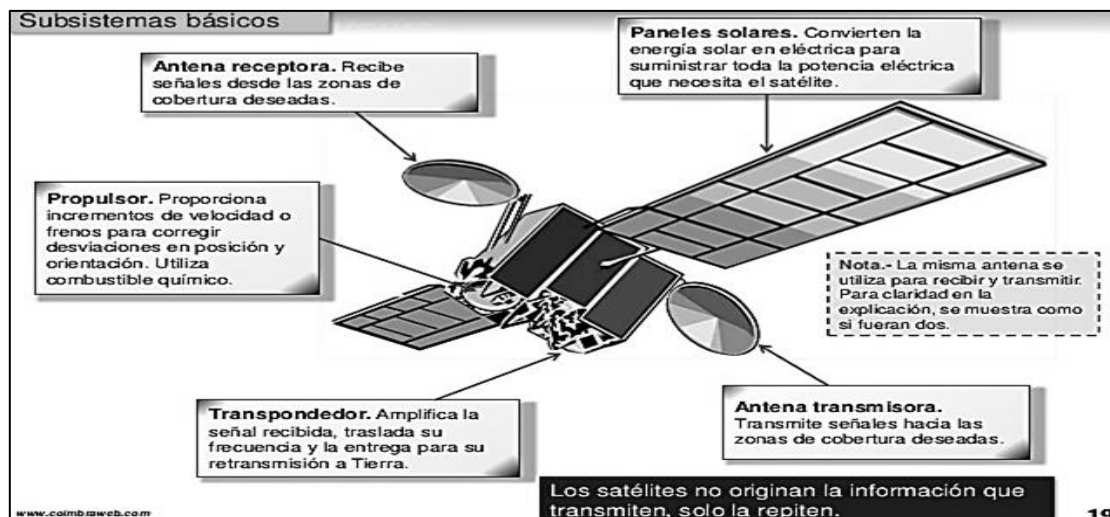


Figura 3. Estructura del Satélite
Tomado de (Valverde, 2016)

1.5 Componentes Externos

Son un conjunto de elementos que se encuentran en la parte externa del satélite, como la antena, el transmisor de radio, paneles solares, propulsor, transpondedor, entre otros.

1.5.1 Subsistema de la Antena

Es un sistema de transmisión y recepción, donde captan las señales emitidas por los satélites para dirigirlas bajo ciertos parámetros técnicos hacia otro punto.

Una antena es un elemento pasivo que trabaja en banda L y banda S para envío y recepción de señales con la ayuda de varias características permitiendo la eficiencia de su funcionamiento.

1.5.2 Parámetros de la Antena

1.5.2.1 Ancho de Banda

En un sistema de comunicación, el ancho de banda es un limitante, ya que es la diferencia entre la frecuencia máxima y mínima. Dentro de esta capacidad se debe tener claro que el ancho de banda de un canal siempre debe ser mayor o igual, al ancho de banda de la información emitida, se detalla en la Figura 4.

$$\begin{cases} \wp : \text{Densidad de Potencia} \\ \vec{E} : \text{Vector del campo electrico} \\ \vec{H} : \text{Vector del campo magnetico} \end{cases}$$

(Ecuación 3)

1.5.2.4 Directividad

Es la capacidad que tiene una antena para transmitir y recibir la energía que se esparce en una dirección, comprende la relación entre la densidad de potencia propagada en esa dirección, la distancia de la radiación y la densidad de potencia emitida de una antena isotrópica a la misma distancia.

$$D_i = \frac{\wp_{m\acute{a}x}(\text{l\acute{o}bulo principal})}{\wp (\text{antena isotr\acute{o}pica})}$$

(Ecuación 4)

1.5.2.5 Ganancia de la Antena

A diferencia de la directividad, la ganancia indica la energía entregada a la antena. Se forma mediante la relación entre la potencia que se genera por la antena isotrópica, la emisión de la potencia de la misma antena, dirigida en una dirección.

$$G_t = \eta \left(\frac{\pi D_f}{c} \right)^2$$

Dónde:

$$\begin{cases} A_t : \text{Ganancia de la antena} \\ \eta : \text{eficiencia de la antena} \\ D_f : \text{Diámetro de la antena} \\ c : \text{velocidad de la luz} \\ c = 3 \times 10^8 \text{ m/s} \end{cases}$$

$$O [dB] G_t = 10 \log \left(\eta \left(\frac{\pi D_f}{c} \right)^2 \right)$$

(Ecuación 5)

1.5.2.6 Ancho de Haz

Es la abertura entre dos puntos del pico del lóbulo principal que representa la máxima potencia irradiada, estos dos puntos representan la mitad de la potencia, dicha distancia angular se determina mediante la siguiente ecuación:

$$\theta_{3dB} = 75 \frac{\lambda}{D}$$

Dónde:

θ_{3dB} : Ancho de Haz
 λ : longitud de onda
 D : diámetro de la apertura de la antena

(Ecuación 6)

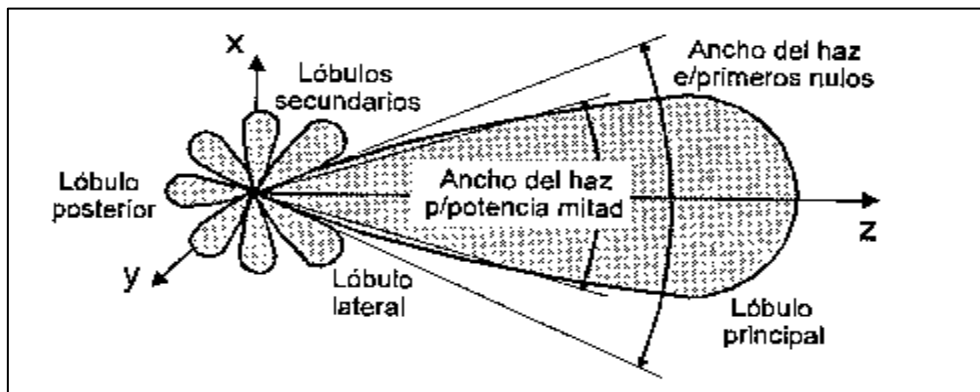


Figura 5. Ancho de Haz
Tomado de (Romero Parada, 2017)

1.5.2.7 Impedancia

Se caracteriza por frenar a la corriente, evitando que se disperse la energía en los conectores, tenga una potencia máxima conectada en la antena. Se compone de la resistencia R y la reactancia Y .

$$Z = \sqrt{R^2 + Y^2} [\Omega]$$

Dónde:

Z : impedancia
 R : resistencia
 Y : reactancia

(Ecuación 7)

1.5.2.8 Patrón de Radiación

Es el área que describe la forma del campo radiado de la energía a partir de la antena a varias direcciones representado tridimensional o bidimensional desde el plano de coordenadas.

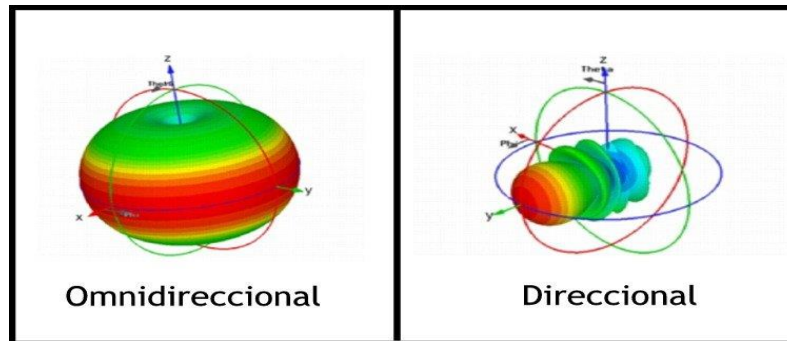


Figura 6. Patrón de Radiación
Tomado de (Camacho Toledo, 2016)

1.5.2.9 Polarización

Es la orientación del campo eléctrico o magnético de la onda en la antena. Existen varios tipos de polarización como polarización horizontal, vertical, elíptica y circular; para formar un enlace las antenas deben tener el mismo tipo de polarización.

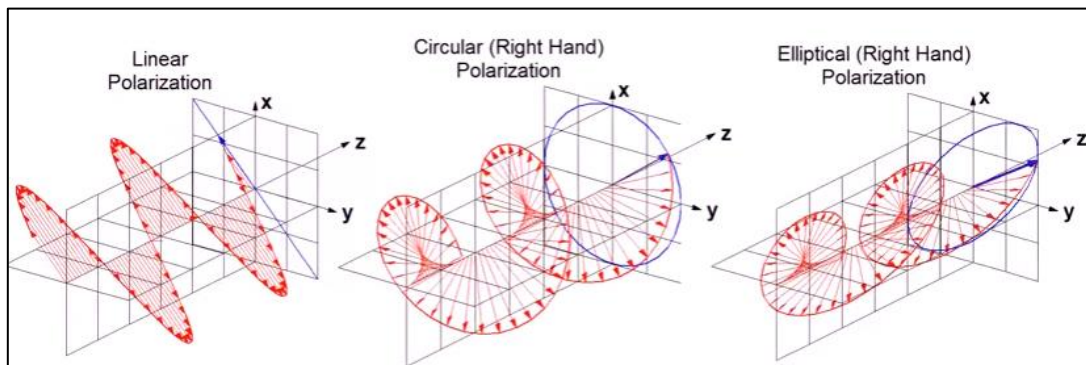


Figura 7. Tipos de Polarización de una Antena
Tomado de(Virtual, 2015)

1.5.2.10 Relación Delante Atrás

Es un coeficiente para determinar la cantidad de potencia que está dirigida hacia adelante, analizando la relación entre el lóbulo principal y el lóbulo opuesto.

$$R_{\frac{d}{a}} = \frac{P_{m\acute{a}x}}{P_{op}} [dB]$$

Dónde:

$$\left\{ \begin{array}{l} R_{d/a}: \text{Relación Delante Atrás} \\ P_{m\acute{a}x}: \text{Energía máxima en la dirección de propagación} \\ P_{op}: \text{Energía irradiada hacia atrás} \end{array} \right.$$

(Ecuación 8)

1.5.3 Paneles Solares

Son elementos divididos por secciones de celdas fotovoltaicas que brindan energía primaria al moverse diariamente en sentido hacia el sol para capturar su potencia radiada y convertirla en energía continua.

Permiten determinar la vida útil de un satélite, ya que la potencia que suministran los paneles solares puede verse afectados por los equinoccios o solsticios que desgastan las celdas solares limitando la potencia necesaria para que funcione el satélite.

Proporciona energía a los subsistemas y también almacena energía en baterías para momentos de baja radiación.

1.5.4 Sistema de Propulsión

Comprende tres funciones principales. La primera es tener un sistema de propulsión químico para el lanzamiento del satélite ubicándose en órbita, su segunda función es mantener el satélite en la longitud y dirección exacta, su última función es encargarse de que el satélite siempre debe apuntar a la Tierra.

1.5.5 Transpondedor

Este dispositivo es limitador de banda de entrada, compuesto por un amplificador de bajo ruido LNA de entrada, desplaza frecuencias, con amplificador de potencia de bajo nivel y un filtro pasa banda de salida. (Beltrán, 2016)

El funcionamiento del transpondedor es tomar las señales desde la Tierra, (enlace de subida), luego amplificar la señal por las pérdidas y disminución de señal que puede producirse. Finalmente realiza una conversión de las frecuencias dirigidas hacia el planeta (enlace de bajada).

Características adicionales:

- Se encarga de escuchar los enlaces.
- Elegir el canal en el enlace de subida.
- Realizar una limpieza con respecto al ruido producido en el enlace de subida.
- Tener dos transpondedores para el enlace de subida y de bajada.

1.6 Componentes Internos

Los componentes internos son: los relojes atómicos, que contienen osciladores precisos para trabajar con la frecuencia fundamental en la salida del sistema, se multiplican generando diferentes frecuencias de onda portadora.

1.7 Sistemas de Control de Posición

Se compone por tres ejes que ayudan a estabilizar y posicionar el satélite con respecto a la Tierra, se maneja mediante sensores para verificar la posición u orientar el satélite hacia su órbita.

1.8 Reflectores Láser para seguimiento (SLR)

Sirven para mantener una posición más precisa medida desde un punto de observación desde la Tierra hacia el satélite mediante la emisión de un pulso laser, donde el tiempo transcurrido hasta la llegada de la emisión es la mitad del tiempo invertido en el viaje ida y regreso.

1.9 Sistemas de Telemetría

Se compone por varios sensores que ayudan a saber el estado de otros subsistemas. Esta información es analizada y enviada por medio de un canal en un reporte periódico hacia el sistema de control.

1.10 Sistemas de Telemando

El sistema de control envía órdenes cifradas mediante el sistema de telemando, con controles que proporcionan información al satélite ya sea para la carga útil o la plataforma.

1.11 Tipos de Satélite

Se debe tomar en cuenta que, para determinar los tipos de satélites, los parámetros que determinan su clasificación son: por su aplicación, por área de utilización y por tipo de órbita.

Se detallan a continuación los satélites según su aplicación:

1.11.1 Satélites Científicos

La función principal de los primeros satélites fue a nivel científico, estos cubrían proyectos de observación solar, terrestre, radiación en el planeta, entre otros y actualmente se mantienen para proyectos de investigación. (Muñoz, 2014)

1.11.2 Satélites de Comunicación

Es un tipo de satélite que es utilizado en transmisión de televisión pagada, acceso a internet, referente a las telecomunicaciones.

1.11.3 Satélites Militares

Dentro de una estación militar existe una combinación de satélites de comunicación, navegación, meteorológicos a nivel geoestacionario.

1.11.4 Satélites de Navegación

Utilizan sistemas de localización para rastreo e identificación, utilizado principalmente en medios de transporte como aéreo y marítimo.

1.11.5 Satélites Meteorológicos

Estudian el estado de la Tierra como los efectos del clima, la temperatura, presión a nivel atmosférico, capturando los datos desde el satélite.

Se dividen en dos subgrupos siendo los siguientes:

1.11.5.1 Satélites de Órbita Polar

Corresponden a los satélites en movimiento hacia los polos, capturan la imagen de la Tierra de forma continua, ya que trabajan con una frecuencia establecida para cada satélite en un rango de los 137,6 MHz a 137,9 MHz, operan en órbita baja es decir LEO (*Low Earth Orbit*) con una altura de 830 a 890 km y un ancho de cobertura de 3000 km en forma sincrónica con el sol.

Su objetivo principal es observar las condiciones de los océanos y la atmosfera. Actualmente los satélites NOAA trabajan en dos modos para baja resolución 137Mhz APT (*Automatic Picture Transmission*) y alta resolución 1,7Ghz HRPT (*High Resolution Picture Transmission*), rodeando a la Tierra dos veces al día y su horario depende de la estación sea invierno o verano más la hora UTC (Tiempo Universal Coordinado).

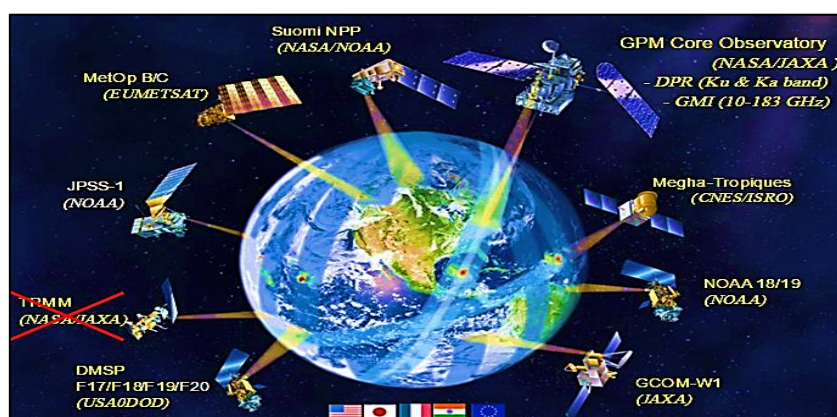


Figura 8. Red de Satélites NOAA
Tomado de(Hood, 2017)

A continuación, se describen los satélites activos de NOAA en órbita:

Tabla 1.

Satélites NOAA en Órbita y Frecuencia de Operación

SATELITE	FRECUENCIA DE OPERACIÓN
NOAA 15	137.620 MHz
NOAA 18	137.912 MHz
NOAA 19	137.100 MHz

Tomado de (Cornejo, 2013)

Nota: Se detallan los satélites activos con su respectiva frecuencia de operación.

- Permanecen sin movimiento sobre su eje.
- Tienen un sensor AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) para capturar información de la superficie de la Tierra.
- El movimiento alrededor de la Tierra es dos veces diarias en un mismo lugar.
- Una ventaja al operar en órbita baja es que tiene una alta resolución.
- Transmiten sus datos en dos frecuencias, una para cada modo APT y HRPT.

1.11.5.2 Satélites Geo-sincrónicos

Se utiliza para telefonía, televisión y tratamiento de datos dependiendo de la aplicación, tiene una velocidad similar a la rotación de la Tierra y su distancia es de 35800 km sobre la línea ecuatorial.

1.11.6 Satélites según su órbita

También existen los Tipos de Satélites según su órbita como se describen a continuación:

1.11.6.1 LEO (*Low Earth Orbit*)

Proporcionan datos geológicos sobre las placas terrestres y tienen una distancia de órbita con respecto a la tierra 160 a 2000 km.

1.11.6.2 MEO (*Medium Earth Orbit*)

Se utilizan principalmente para la telefonía y televisión, su distancia aproximadamente de 10000 km.

1.11.6.3 HEO (*Highly Elliptical Orbit*)

Se utilizan para trazar cartas geográficas de la superficie terrestre, su movimiento es elíptico alrededor de la Tierra y distancia aproximada de 36000 km.

1.12 Parámetros de los Satélites

1.12.1 Frecuencia

Es la unidad que expresa el número de variaciones por segundo que tiene la señal emitida desde el satélite.

1.12.2 Bandas de Frecuencia

Es un rango de frecuencias del espectro radioeléctrico, tiene dos límites específicos, la frecuencia fundamental y ancho de banda asociada.

Tabla 2.

Banda de Frecuencias

Banda	Ejemplos de atribución (GHz)*	Designación alternativa
L	1.525-1.71	Banda de 1.5 GHz
S	1.99- 2.20	Banda de 2 GHz
	2.5-2.69	Banda de 2.5 GHz
C	3.4-4.2, 4.5-4.8,	Banda de 4/6 GHz
	5.15- 5.25, 5.85-7.075	Banda de 5/7 GHz
X	7.2-8.4	Banda de 7/8 GHz
Ku	10.7-13.25,	Banda de 11/14 GHz,
	13.75-14.8	Banda de 12/14 GHz
Ka	27.0-31.0	Banda de 30 GHz

Tomado de (Rosado, C. 2000)

Nota: Descripción de las bandas de operación de los satélites con el rango de frecuencias.

Las Bandas de Frecuencia que operan los satélites son la Banda C, Banda Ku y la Banda Ka.

1.13 Modulación

Es el procedimiento para transportar la señal sobre la onda portadora por uno o varios canales, con el objetivo de trasladar más información en forma instantánea y tener control de la señal.

El funcionamiento actúa bajo las características de la onda, sea por amplitud, fase o frecuencia, con respecto a la onda secundaria, y el espectro de frecuencia pasa a una banda mayor haciendo que las transmisiones sean más eficientes. En la Figura 9 se visualiza el proceso de la Modulación.

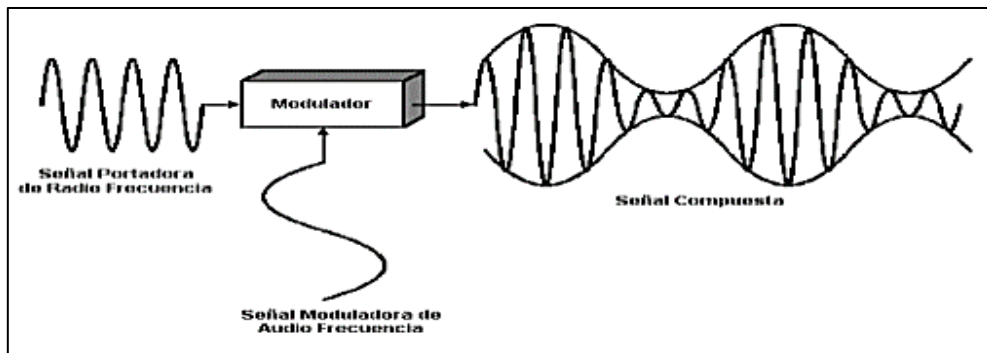


Figura 9. Modulación
Tomado de (ESQUIVEL TRINIDAD, 2011)

Teoría de Nyquist

Evita que exista el efecto *Aliasing* teniendo presente que la frecuencia de muestreo debe tener el doble de ancho de banda de la señal que se desea convertir asumiendo que la señal este en banda base.

Condiciones

$$\begin{aligned} \text{ancho de banda: } & \{0 \text{ a } f_{\text{máx}}\} \\ \text{frecuencia de muestreo } & \geq 2f_{\text{máx}} \end{aligned}$$

(Ecuación 9)

1.14 Demodulación

Es el proceso que permite recuperar la señal luego de haber pasado por la modulación.

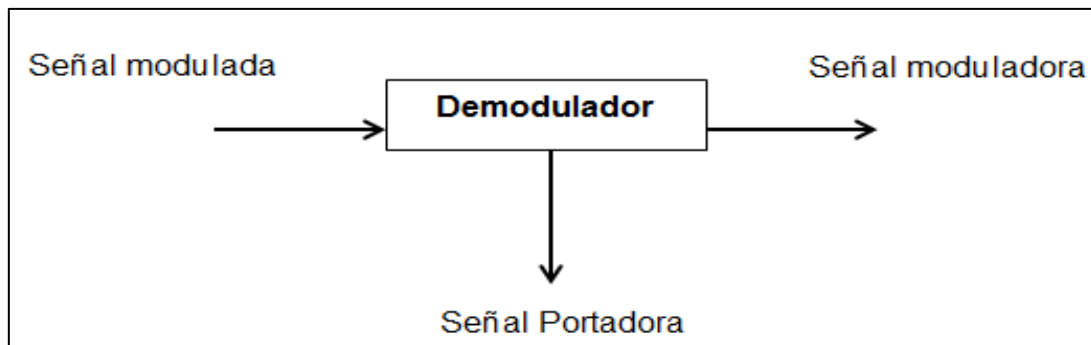


Figura 10. Proceso de Demodulación

Existen dos métodos a la hora de procesar la información, detallados de la siguiente manera:

1.15 Métodos de Acceso

1.15.1 FDMA (Acceso Múltiple por División de Frecuencia)

Es un sistema que trabaja en el dominio de las frecuencias. Si las estaciones tienen un ancho de banda y una frecuencia central, el satélite puede manejar el rango de frecuencias mediante el FDMA.

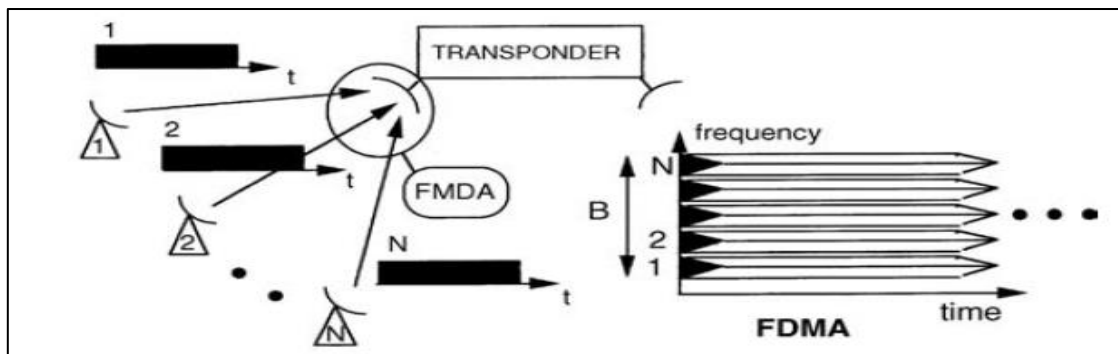


Figura 11. Frequency Division Multiple Access (FDMA)

Tomado de: (Gérard & Michel, 2015)

1.15.2 CDMA (Acceso Múltiple por División de Código)

En este proceso la estación terrena viene representado por una secuencia de números sobre la portadora y trabaja tanto en el dominio de la frecuencia como del tiempo.

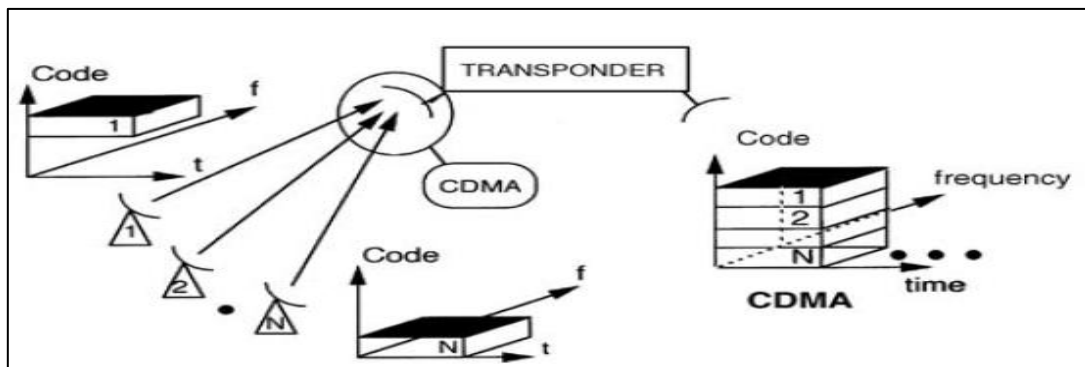


Figura 12. Code Division Multiple Access (CDMA)
Tomado de (Gérard & Michel, 2015)

1.15.3 TDMA (Acceso Múltiple por División de Tiempo)

Dentro de cada estación se trabaja con tiempo para la transmisión y con una portadora, lo que significa que el satélite tendrá que enviar o recibir información de forma sincrónica.

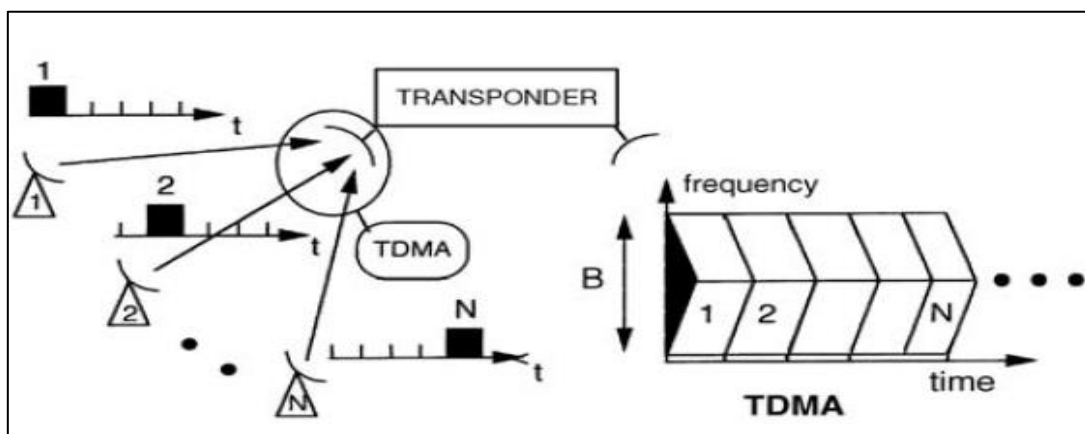


Figura 13. Time Division Multiple Access (TDMA)
Tomado de (Gérard & Michel, 2015)

1.16 Cálculo del Enlace

El enlace de comunicación se genera por la relación espacial y terrestre, sea de forma ascendente o descendente.

Las portadoras se modulan a banda base pasando a enlaces de comunicación entre satélites cuando no tienen línea de vista directa.

Primeramente, se procede a definir los elementos que comprenden el enlace de comunicaciones satelital:

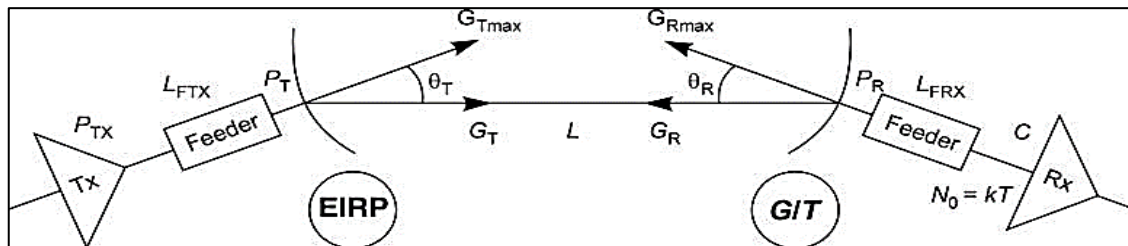


Figura 14. Elementos del Enlace Satelital
Tomado de(Gérard & Michel, 2015)

Como se visualiza en la Figura 14, en la parte receptora se compone de la antena **Rx** para la recepción y con ganancia **G_{Rmáx}** direccionado a los equipos de transmisión con una fuente de recepción. En la entrada está la portadora modulada, se representa por **C** y las fuentes de ruido que contribuyen a las condiciones de temperatura **T** se denomina **No** (Densidad Espectral de Potencia de Ruido).

El rendimiento **C/No** es calculado en la entrada del receptor, donde la ganancia del equipo receptor es proporcional a la temperatura **T**.

Para calcular **C/No**, se necesita de las siguientes ecuaciones.

La potencia que interviene en el enlace es la Potencia Isotrópica Radiada Equivalente PIRE o conocida en sus siglas en inglés como EIRP.

$$\text{EIRP} = P_T * G_T (W)$$

Dónde:

$$\begin{cases} P_t: \text{Potencia del Transmisor} \\ G_t: \text{Ganancia de la Antena} \end{cases}$$

$$\text{PIRE} = 10 \log(P_t A_t) [dB]$$

(Ecuación 10)

1.16.1 Pérdidas causadas por cables

$$L_C = 10 \log_{10} \left(\frac{l}{\pi r} \right) \begin{cases} r: \text{radio} \\ l: \text{longitud del cable} \end{cases}$$

(Ecuación 11)

1.16.2 Ganancia

Es la relación que existe entre la potencia radiada, es decir, recibida con su respectiva dirección de recepción y el ángulo de la antena isotrópica alimentado con la misma potencia.

La ganancia máxima de la radiación es evaluada a continuación:

$$G_{m\acute{a}x} = \left(\frac{4\pi}{\lambda^2}\right) * A_{eff}$$

Dónde:

$$\left\{ \begin{array}{l} G_{m\acute{a}x} = \text{ganancia m\acute{a}xima de la Antena} \\ C \text{ velocidad de luz} \\ \lambda = \frac{C}{f \text{ frecuencia de la onda}} = \text{longitud de onda} \\ c \approx 3 \times 10^8 \text{ m/s} \\ A_{eff} = \text{\c{A}rea de abertura efectiva de la antena.} \end{array} \right.$$

(Ecuaci3n 12)

Por tanto, el PIRE tambi3n es igual a

$$\text{PIRE} = L_{FTX} + L_{FRX} - G_R$$

D3nde:

$$\left\{ \begin{array}{l} P_T \text{ Potencia de transmisi3n} \\ G_{Rm\acute{a}x} \text{ ganancia de recepci3n m\acute{a}x} \\ L_{FRX} \text{ P3rdidas en gu\c{a} de onda en l\c{i}nea} \end{array} \right.$$

(Ecuaci3n 13)

1.16.3 P3rdidas por Propagaci3n

Sirve para ver el balance de p3rdidas y ganancias en la potencia de la se\c{a}l.

Las p3rdidas por propagaci3n en el espacio libre que surgen de la energ\c{a} que se propaga cuando la se\c{a}l se aleja de la fuente.

$$L_{p(dB)} = 10 \log \left(\frac{4\pi Df}{c} \right)^2$$

$$L_{p(dB)} = 20 \log \left(\frac{4\pi Df}{c} \right)$$

(Ecuaci3n 14)

1.16.4 Densidad de Potencia

Mejor conocido como el flujo de potencia y determinado de la siguiente manera:

$$C'(dB) = 10 \log \left(\frac{P_{tx} A_{tx}}{4\pi r^2} \right)$$

Dónde:

$$\left\{ \begin{array}{l} C' : \text{Densidad de Flujo} \\ P_{tx} : \text{Potencia tx} \\ A_{tx} : \text{Ganancia de la Antena tx} \end{array} \right.$$

(Ecuación 15)

1.16.5 Potencia en el receptor

Potencia que recibe la antena del sistema receptor.

$$P_{rx}(dB) = 10 \log \left(\frac{P_{tx} A_{tx} A_{rx}}{4\pi r^2} \right)$$

(Ecuación 16)

1.16.6 Relación de portadora a Densidad de Ruido

Relación entre la potencia de la portadora y bandas laterales.

$$\frac{c}{N_0} = \frac{c}{KT_e}, \text{ en } 1\text{hz}$$

(Ecuación 17)

1.16.7 Relación de portadora a Señal a Ruido

Sirve para conocer el valor de potencia transmitido a un enlace de comunicación satelital.

$$\frac{C}{N} = \frac{C}{N_0} - BW$$

(Ecuación 18)

1.16.8 Cálculo para el enlace de bajada

Se procede con los datos anteriores, pero para un enlace de bajada.

$$\left(\frac{C}{N_0} \right)_{dB} = PIRE(dBW)_d - L_p(dB)_d + \left(\frac{G}{T_e} \right) dBK^{-1}_d - Lg(dB)_d - K(dBWK)$$

(Ecuación 19)

1.16.9 Cálculo de eficiencia total del Sistema

Finalmente se podría obtener los cálculos de la eficiencia del sistema, de la siguiente manera:

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_{sis} = \frac{\text{antilog} \left[0.1 \left(\frac{E_b}{N_0}\right) u \right] * \left[\text{antilog} 0.1 \left(\frac{E_b}{N_0}\right) d \right]}{\text{antilog} \left[0.1 \left(\frac{E_b}{N_0}\right) u \right] + \left[\text{antilog} 0.1 \left(\frac{E_b}{N_0}\right) d \right]}$$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{sis} = \frac{1}{\frac{1}{\left(\frac{C}{N}\right)_u} + \frac{1}{\left(\frac{C}{N}\right)_d}}$$

(Ecuación 20)

1.17 Índice de Ruido

Es un parámetro aplicado a objetos con temperaturas altas de cero, donde se puede determinar las variaciones del ruido es decir la relación del desgaste de la señal al pasar por un circuito electrónico.

$$N = KT_E B$$

Dónde:

$$\left\{ \begin{array}{l} N : \text{Potencia Generada por el ruido del amplificador} \\ K: \text{constante de Boltzman} \\ T_E: \text{temperatura} \\ B: \text{ancho de banda} \end{array} \right.$$

(Ecuación 21)

Potencia del ruido en el amplificador de salida N_E

$$N_E = AKBT(T + T_E)$$

(Ecuación 22)

$$F = \frac{\left(\frac{S}{N}\right)_{ent}}{\left(\frac{S}{N}\right)_{sal}} = \frac{\frac{S}{N_i}}{\frac{AS}{N_o}} = \frac{N_e}{AN_i} = \frac{KBT(T + T_E)}{AKTB}$$

$$F = 1 + \frac{T_e}{T}$$

(Ecuación 23)

1.18 Densidad de Ruido

Es un valor determinado por la potencia de ruido normalizado del amplificador en un ancho de banda de 1 Hz. (Álvarez, 2004)

$$N_0 = \frac{N}{B} = \frac{KT_E B}{B} = KT_E$$

(Ecuación 24)

1.19 Segmento Terreno

1.19.1 Centro de Control

En el segmento terreno se ubica el centro de control que maneja las constelaciones satelitales destinadas a un proyecto específico, para cumplir funciones de control y monitoreo. Se encuentra encargado de planificar, controlar la plataforma satelital, durante toda la vida útil del satélite.

- Genera señales de cada estación de trabajo dirigidos a otros centros de control o a otras estaciones.
- Se permite la detección de satélites antes de poder iniciar la comunicación.
- Se valida que la información de ubicación no se encuentre modificada, caso contrario se regula la dirección u otro tipo de característica técnica.
- Se monitorea el estado de los satélites para validar el correcto funcionamiento.
- Otras estaciones terrenas envían información al centro de control para que sean procesadas desde allí.
- Se puede acceder de forma remota hacia el sistema de comunicaciones del satélite mediante una interfaz.

1.19.2 Estación Terrena

Es un punto en la Tierra que tiene como función la preparación de las señales para la transmisión y recepción hacia el satélite o hacia otro punto en el planeta.

Dispone de un conjunto de satélites y antenas que forman comunicación con otras estaciones terrenas.

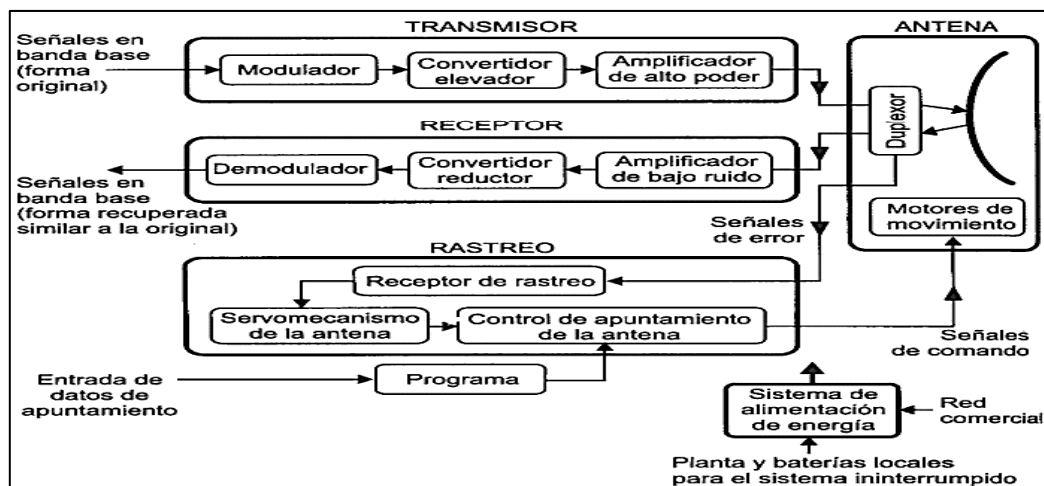


Figura 15. Diagrama de Bloques de una Estación Terrena
Tomado de (Coimbra Gutiérrez, 2010)

1.20 SDR Software Definido por Radio

1.20.1 Definición

Es un sistema de radio comunicación que permite reemplazar componentes físicos a componentes internos caracterizados por ser manejables, flexibles en programación de bajo costo, ocupan menor espacio y confiables para procesar gran cantidad de señales en menor tiempo.

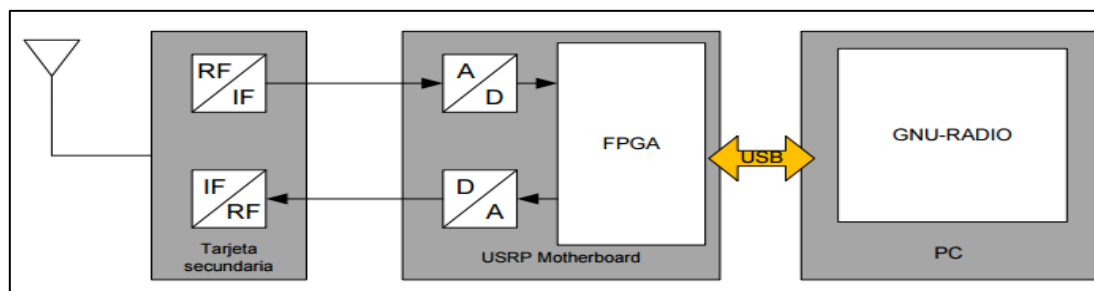


Figura 16. Diagrama de Bloques
Tomado de (Pinar Domínguez, 2017)

En el diagrama de bloques se observa que la señal es recibida en la antena, pasa a la tarjeta secundaria, donde se provee de encabezado de RF Radiofrecuencia, dicha señal es enviada a la tarjeta madre que utiliza el proceso de conversión A/D y al ser direccionado a la tarjeta FPGA (Arreglo de puertas programables en campo) se reduce la tasa de muestreo en la interfaz USB y finaliza con la conexión hacia la PC, donde es manejado por LabView.

1.20.2 Estructura

El SDR se compone de tres secciones, la Sección RF, Sección IF y Sección Banda Base.

1.20.2.1 Sección RF

Se encarga en la transmisión y recepción de las señales para prepararlas y enviarlas a la Sección IF convirtiéndolas en frecuencias Intermedias. En la etapa de transmisión realiza un proceso opuesto al amplificar y modular las señales intermedias.

1.20.2.2 Sección IF

En caso de recepción se digitaliza la señal y en transmisión se convierte a forma análoga utilizando ADC (Conversor Analógico Digital), DAC (Convertidor Digital Analógico) para nivelar la tasa de muestreo y pasar la señal a la sección de banda base.

1.20.2.3 Sección Banda Base

A diferencia de los anteriores bloques en esta etapa es aplicado en *software* y utiliza funciones de modulación, demodulación y análisis de la señal.

1.20.3 Aplicaciones

SDR es flexible para trabajar con diferentes arquitecturas permitiendo mayor apertura en el mercado, ya que mantiene estándares y regularizaciones en el desarrollo de contenidos como la base de telefonía móvil, captación de señales de radiofrecuencia.

Tabla 3.

Características *Evolutivas en las Aplicaciones con SDR*

Evolución del SDR	Aplicaciones
1991	Proyecto <i>SpeakEasy</i> emula a un radio con frecuencias de 2Mhz a 45.5Ghz.
1997	JTRS (<i>Joint Tactical Radio System</i>), capacidad de servicios convergentes para aviones con frecuencias de 2 MHz a 2000 MHz.
1997	SDR Forum (<i>Wireless Innovation Forum</i>)
2000 a 2003	SDR-1000 Primer Radio Definido por <i>Software</i> con código abierto. <i>FlexRadio Systems</i> .
2000 a 2005	Aplicaciones militares de alto costo
2001	GNU Radio se destaca el USRP.
2007	Avances en microelectrónica. Interviene en la capa física de la red. Procesadores de banda base.
2008	WINTSEC (<i>Wireless INTeroperability for SECurity</i>), rompe barreras de interoperabilidad para la seguridad en la Unión Europea.
2009	COALWNW (<i>Coalition Wideband Networking Waveform</i>), Proyecto formado por varios países.
2010	Proyecto BTS con similares características del GSM para llamadas telefónicas.
2013	SSDR MIEA (<i>Secure SDR Multilateral Information Exchange Agreement</i>).

Nota: Se detallan las aplicaciones de la tecnología SDR de forma cronológica.

1.21 Antena



Figura 17. Antena de 2.4Gb y 7dBi
Tomado de (AliExpress, 2017)

1.21.1 Definición

Es una antena magnética omnidireccional que permite mejorar la calidad de la señal con una alta ganancia.

1.21.2 Características Técnicas

- Frecuencia: 2371-2483 MHz
- Ganancia (dBi): 7dBi
- Impedancia: 50 Ohm
- VSWR < 1.5 Promedio
- Potencia máxima De Entrada:50 W
- Longitud: 266 cm
- Peso: 49g

1.22 USRP (Universal Software Radio Peripheral)

1.22.1 Definición

Es un dispositivo periférico que está compuesto por puertos de comunicación para conectarse al ordenador y poder controlar funciones de radio. Sustituye a los equipos transceptores y receptores de radiocomunicación al utilizar el *software* apropiado.

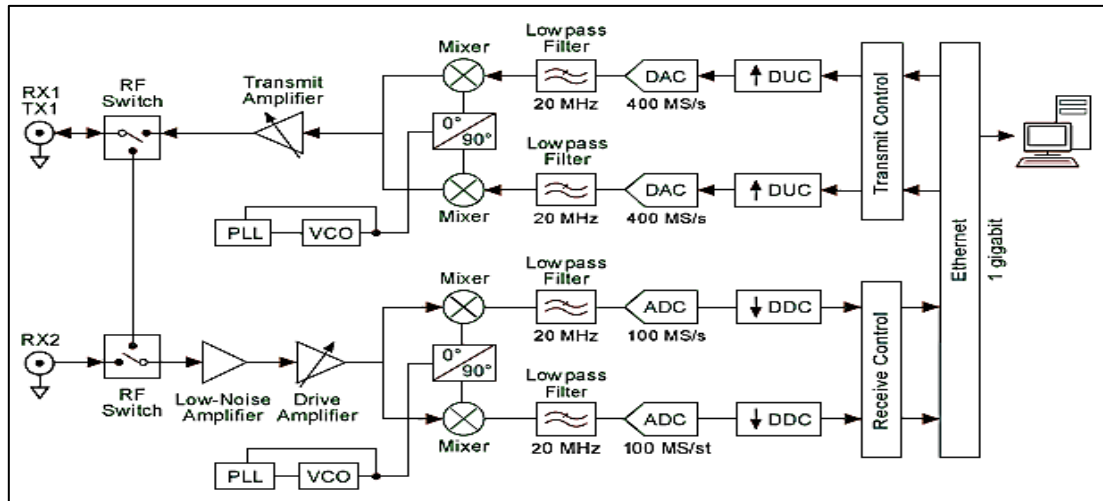


Figura18. Diagrama de Bloques base del USRP
Tomado de (Instrument, 2017)

1.22.2 Estructura

- Se compone por ADC, DAC, FPGA, generación de reloj y sincronización, interfaz y el regulador de potencia en la parte interna del dispositivo.
- También utiliza tarjetas secundarias durante la transmisión y recepción de la señal.
- Cumple con el funcionamiento de un SDR, esto significa que transporta la información por las secciones IF y RF.
- La tarjeta madre se caracteriza por tener accesos de transmisión TxA y TxB y recepción RxA y RxB.

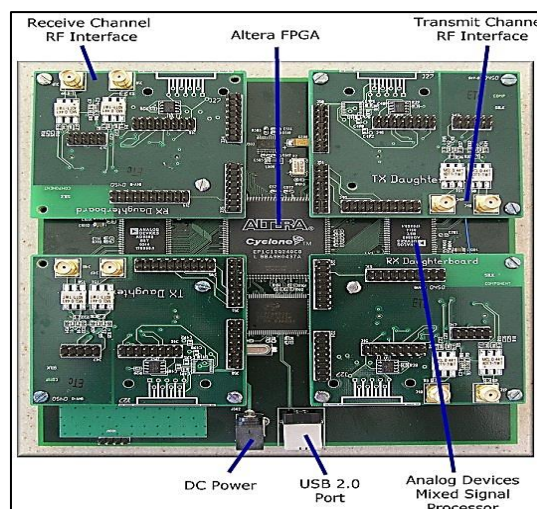


Figura19. Tarjeta Madre de USRP y Tarjetas Secundarias
Tomado de (Jacky, 2009)

1.22.2.1 ADC (Conversor Analógico Digital)

Se compone de cuatro conversores de analógico - digital de alta velocidad y cada uno con 12 bits por muestra teniendo un total 64 millones de muestras por segundo.

Cuando la señal analógica pasa a ser digital, existe un efecto conocido como *Aliasing* que distorsiona la señal continua provocando pérdidas de información y no puede regresar a la señal original.

1.22.2.2 DAC (Convertidor Digital Analógico)

Se compone de cuatro ADC, de alta velocidad y cada uno con 14 bits por muestra, convirtiéndose en 128 millones de muestras por segundo.

1.22.2.3 La tarjeta FPGA

Realiza varias funciones de procesamiento digital de señales, se pueden maniobrar la tasa de velocidad de las señales, operan la conversión descendente digital DDC y conversión ascendente digital DUC mediante el código de la tarjeta caracterizado por ser abierto.

En el DDC disminuye la tasa de muestreo, se empaqueta para ser transmitido desde el *Ethernet* hacia el computador.

1.22.2.4 Características Técnicas

Tabla 4.

Características Técnicas NI USRP 2920

Rango de frecuencia	50 MHz – 2.2 GHz
Potencia	50 MHz – 1.2 GHz / 17 - 20 dBm 1.2 GHz – 2.2 GHz / 15 - 18 dBm
Rango de ganancia de salida	25 Db
Precisión de frecuencia	50 PPM
Ancho de banda en tiempo real	20 MHz
Rango de ganancia	0 -31 Db
DAC	400 ms/s, 16 bit
DAC SFDR	80 Db

Tomado de (Instrument N. , 2017)

Nota: Se describe el rango de operaciones para el dispositivo NI USRP 2920

1.23 Software de Desarrollo de Sistemas NI LabView

1.23.1. Definición

Es un entorno de programación a nivel gráfico, se utiliza principalmente para adquisición de datos, manipulación, control y análisis de información.

1.23.2 Características

Está compuesto por varias herramientas, librerías y subrutinas que facilitan el trabajo del programador.

Al generar un programa en LabView se tiene una extensión Vis (Instrumentos Virtuales), esto indica que se compone por una parte virtual e interactiva y por otro lado tiene una parte de lenguaje de máquina.

Ventajas

- Es un potente sistema que reemplaza el *hardware* complejo de radiocomunicación.
- Es un sistema adaptable y flexible para integrar múltiples herramientas.

- El desarrollo de ingeniería se encuentra inmerso en los componentes y datos que utiliza LabView.
- Se puede trabajar con datos reales y en menor tiempo.
- Contiene múltiples funciones matemáticas y de procesamiento de señales, haciendo que los patrones de señales sean fáciles de percibir.
- Ofrece código abierto y la integración con otros tipos de lenguaje como Python, ANSI y .NET.
- Es un *software* versátil ya que puede trabajar en varios dispositivos al contener múltiples controladores.
- Maneja en segundo plano la asignación de hilos y procesos para que el desarrollador se enfoque en sólo resolver el problema.
- Se recopilan medidas de ingenieros y científicos para la administración de los datos, lo que indica que LabView es un *software* robusto y confiable.

1.23.3 Estructura de LabView

Al acceder al *software* de NI LabView se visualiza que contiene dos subsistemas o más conocidos como SubVis. El entorno de LabView básicamente está compuesto de los siguientes elementos:

1.23.3.1 Panel Frontal

Es la interfaz interactiva del programador donde se puede colocar elementos gráficos de todo tipo de dato de la paleta de control, además se conecta con el diagrama de bloques y trabajan en conjunto.

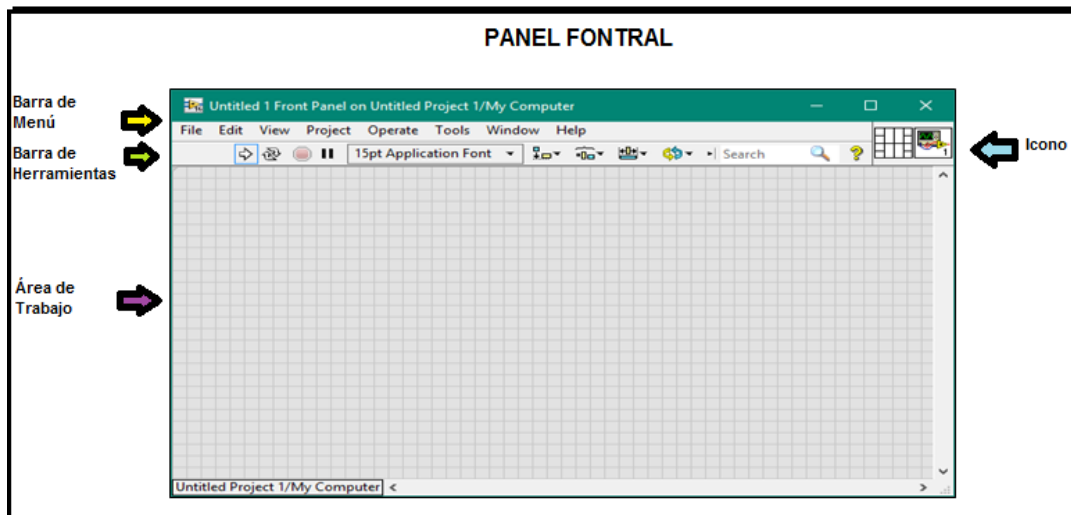


Figura 20. Panel Frontal
Tomado de (Instruments, 2016)

1.23.3.2 Paleta de Controles

La paleta de controles está compuesta por elementos que son utilizados en el diseño de la interfaz en el panel frontal, aquí se puede encontrar controles de diferentes tipos como: perillas, botones, deslizadores, también indicadores de tipo gráfico, tablas, leds, secuencia de estados, y elementos que simulan ser dispositivos.

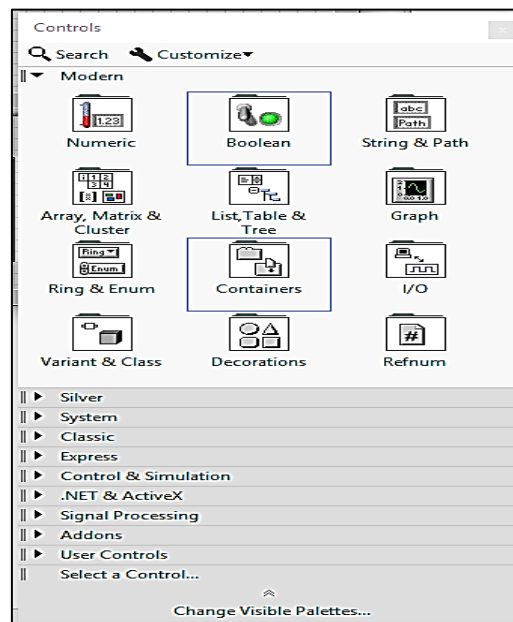


Figura 21. Paleta de Controles
Tomado de (Instruments, 2016)

1.23.3.3 Diagrama de Bloques

Es la ventana principal para desarrollar la interfaz mediante código de programación representado por bloques de forma jerárquica y modular.

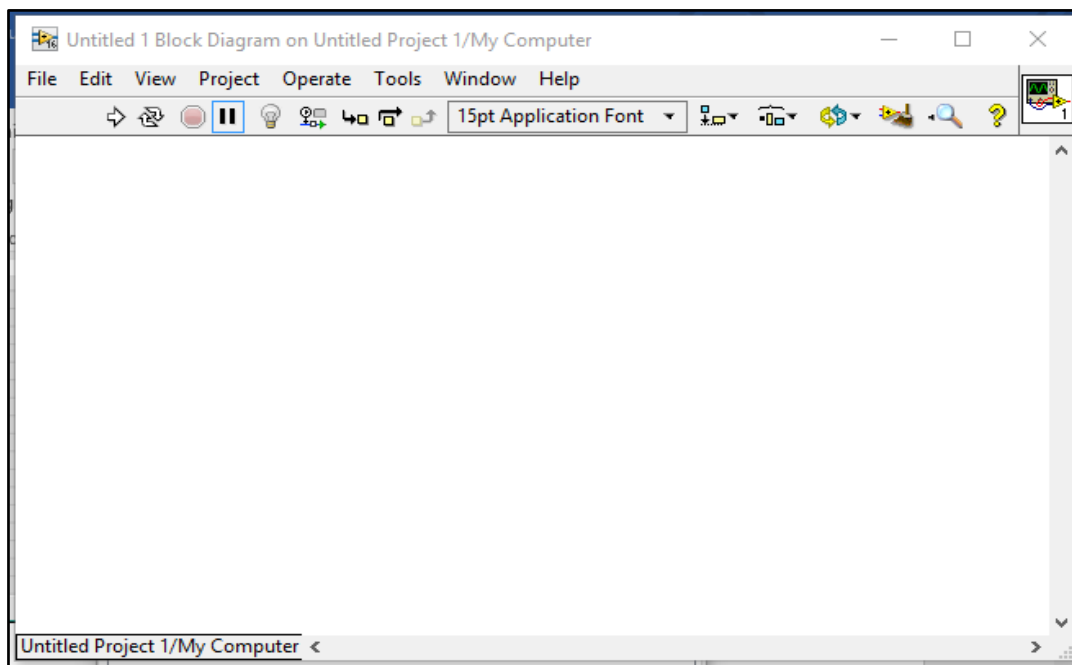


Figura 22. Diagrama de bloques
Tomado de (Instruments, 2016)

1.23.3.4 Paleta de Funciones

La paleta de funciones tiene componentes para construir los VIs y formar el algoritmo de bloques, dispone de elementos correspondientes a funciones de todo tipo sean matemáticas, bucles repetitivos, booleano, *string*, *arrays*, formas de onda, gráficas, entre otras.

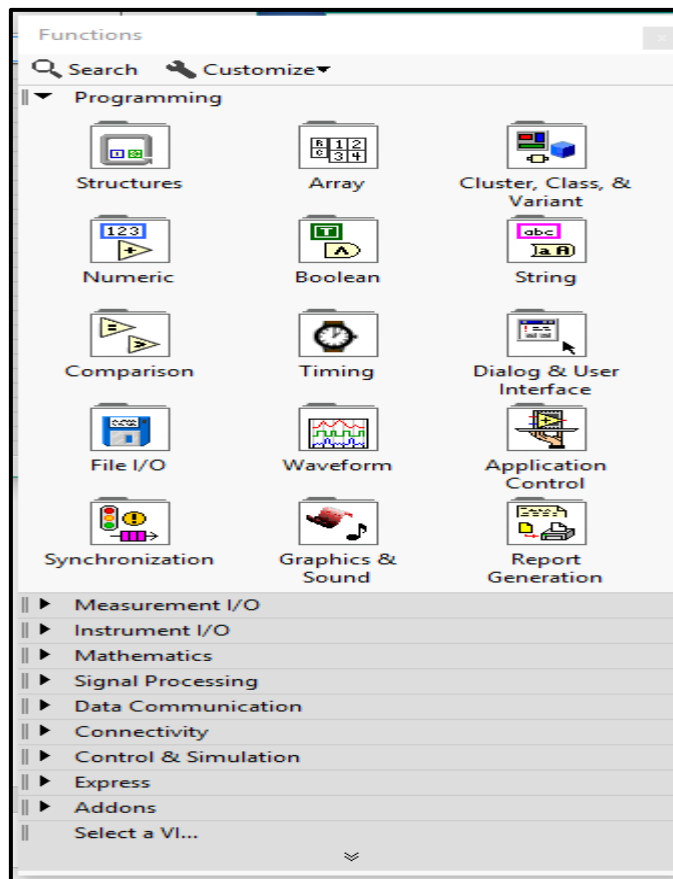


Figura 23. Panel de Funciones
Tomado de (Instruments, 2016)

Las paletas se dividen en diferentes categorías y subcategorías de datos, funciones, herramientas y subsistemas que se reflejan en el panel frontal y diagrama de bloques. Para cada controlador e indicador posee una estructura base que se detalla en la figura 24:

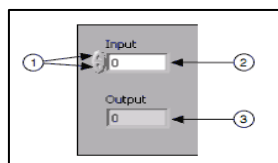


Figura 24. Controles e Indicadores en LabView
Tomado de (Instruments, 2016)

En la figura 33, se visualiza en el número 1 tiene adjunto un botón para incrementar en la barra de desplazamiento, en el número 2 es un control numérico, y en el 3 es un indicador numérico.

1.23.3.5 Ayuda de Contexto

Es una herramienta útil para conocer las características de un elemento o características técnicas, tipo de dato, proporcionando una pequeña descripción y ejemplo, cómo se puede visualizar en la figura 25.

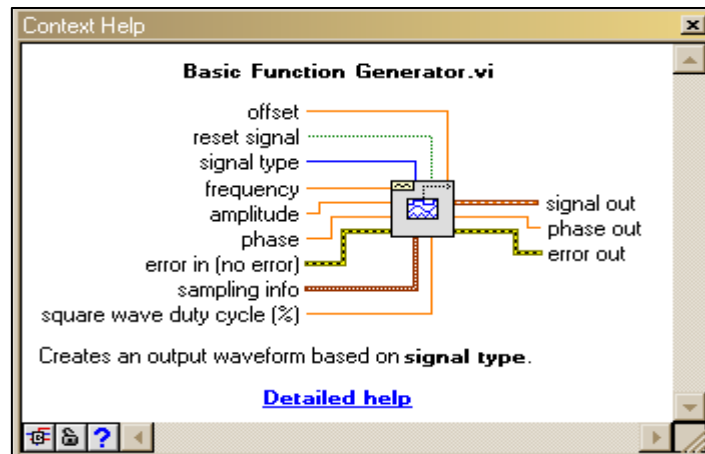


Figura 25. Ayuda de Contexto
Tomado de (Instruments, 2016)

1.23.3.6 Panel de Herramientas

También conocido como *Tool Palette*, cada botón contiene una función específica para utilizar en el panel frontal o en el diagrama de bloques.



Figura 26. Panel de Herramientas
Tomado de (Instruments, 2016)

Tabla 5.

Paleta de Herramientas en LabView

Herramienta automática		
Operar	Direccionar	Escribir
Conectar	Acceso directo a objetos	Mover pantalla
Establecer / borrar punto de interrupción	Sondear	Extraer Color
Colorear la interfaz y componentes		

Nota: Las funciones del panel de herramientas es descrito con palabras y no con gráficos.






Las herramientas que lo integran son herramientas para seleccionar de forma automática, valor operador, se utiliza para cambiar o texto de control, el cursor realiza re-direccionamiento de objetos, menú contextual permita visualizar un menú del objeto seleccionado, punto rojo ayuda a identificar y colocar puntos abiertos en los cables de conexión del diagrama de bloques, bobina de clave sirve para unir cables, botones de captura de color para pintar objetos y el botón para editar texto.

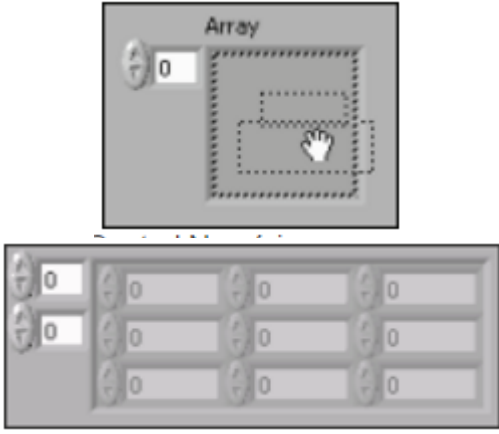
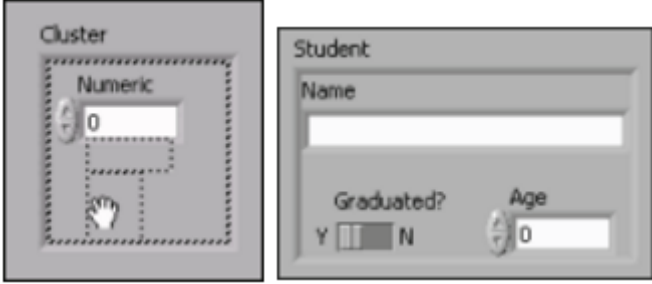
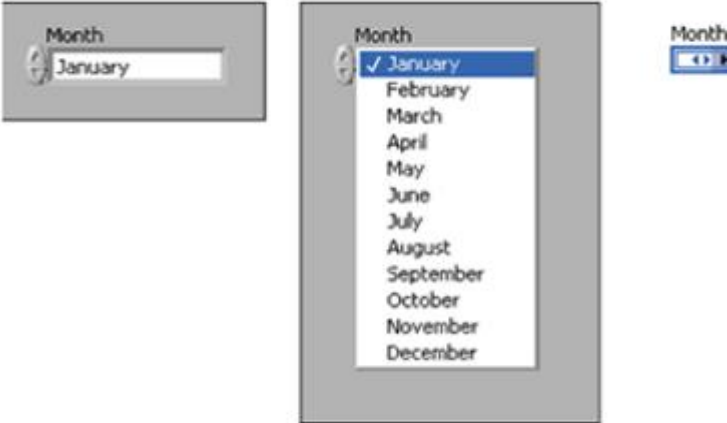
1.23.4 Estructura de datos en LabView

Se clasifica de la siguiente manera:

Tabla 6.

Tipos de Dato en LabView

Tipo de Dato	Representación
Tipo de Datos Cadena de Caracteres	
Tipo de Dato Numérico <i>Double</i> <i>Int</i>	 
Tipo de Dato Booleano	
Tipo de Dato Dinámico	

Arreglos	 <p>The image shows two LabVIEW icons for arrays. The top icon is labeled 'Array' and features a dashed rectangular box with a hand cursor pointing to it, indicating a selection or editing operation. The bottom icon is labeled 'Array Elements' and displays a grid of eight numeric input fields, each containing the value '0', arranged in two rows of four.</p>
Clúster	 <p>The image shows two LabVIEW icons for clusters. The left icon is labeled 'Cluster' and shows a dashed rectangular box containing a 'Numeric' input field with the value '0' and a hand cursor. The right icon is labeled 'Student' and represents a cluster of fields: a 'Name' text input field, a 'Graduated?' checkbox with 'Y' and 'N' options, and an 'Age' numeric input field with the value '0'.</p>
Enums	 <p>The image shows two LabVIEW icons for enums. The left icon is labeled 'Month' and shows a dropdown menu with 'January' selected. The right icon is also labeled 'Month' and shows a list box with 'January' selected (indicated by a checkmark) and other months listed below: February, March, April, May, June, July, August, September, October, November, and December.</p>

Nota: En la tabla No. 6, tiene se compone de la descripción de los tipos de datos en NI LabView.

1.23.5 Ejemplo en LabView

Se visualiza en la figura 27, que el panel frontal tiene componentes para encendido y apagado de la interfaz, botón para seleccionar el tipo de onda, un deslizador que permite manipular la amplitud y frecuencia, visualizados en un indicador con un control de gráficas de onda. A la vez en el diagrama de bloques se puede ver un case structure que contiene las funciones de tipo de señal, frecuencia y amplitud, configura dos hacia un oscilador, generador de onda y espectro.

Estas son opciones que presenta NI LabView para desarrollar una diversidad de proyectos con la ayuda de las herramientas como funciones, controles, indicadores, tipos de dato, bucles de repetición, componentes de tiempo, entre otros; considerado un lenguaje de programación interactivo, jerárquico y versátil.

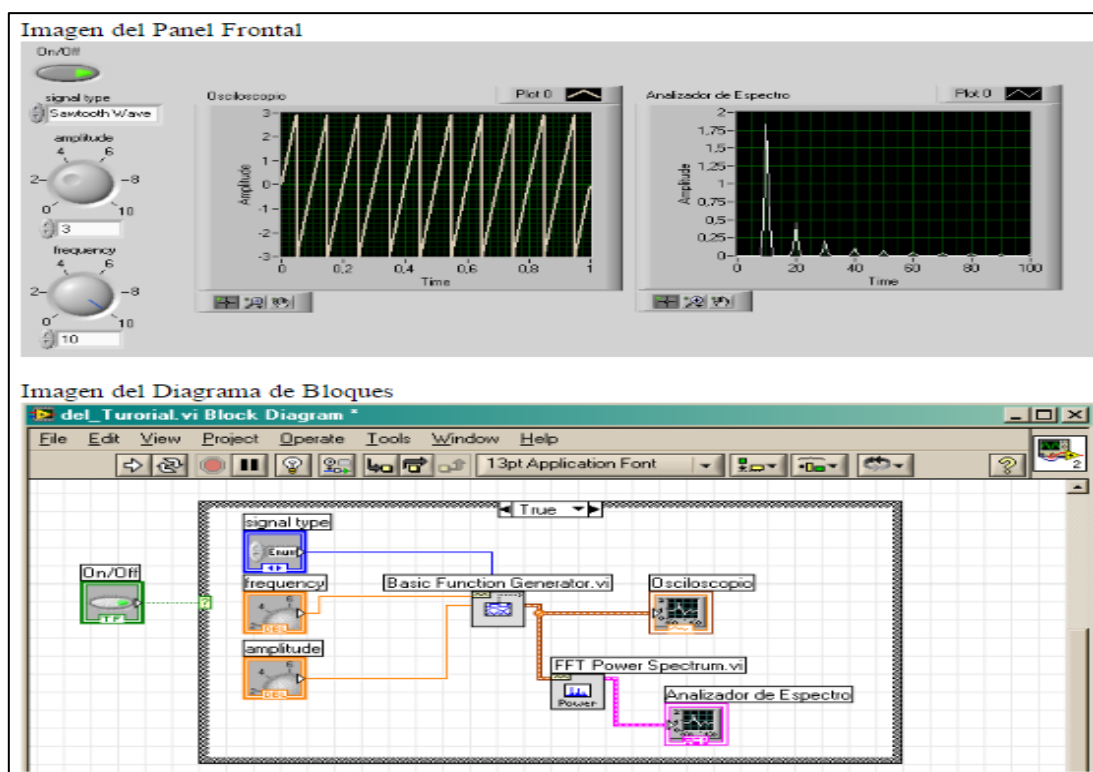


Figura 27. Ejemplo en LabView

Tomado de (Instruments, Introducción a LabVIEW, uso de estructuras y funciones básicas, 2017)

2. Capítulo II Metodología

2.1 Descripción

El presente capítulo indica cómo utilizar la información, las herramientas para el desarrollo del algoritmo, el manejo de las metodologías dentro de un plan ordenado de análisis, procesamiento y ejecución.

Los métodos que se han considerado apropiados para el desarrollo del proyecto son el método inductivo, exploratorio y el método experimental.

La primera fase comprende el diseño del sistema de comunicación basado por el satélite NOAA que permite capturar las señales desde la superficie terrestre y la configuración de los parámetros necesarios para mantener el enlace en el sistema, es decir, el satélite, la antena, el USRP y las interfaces como Orbitron para visualizar el paso del satélite y la interfaz en LabView para capturar y analizar la señal.

A continuación, en la figura 28, se presentan los bloques de trabajo para desarrollar el algoritmo, detalladas de la siguiente manera:

Primero, en la captación de señales satelitales es importante utilizar varios elementos que corresponden al *hardware* del sistema como el dispositivo NI USRP 2920, el cual está compuesto por la antena y la tarjeta madre que sirve para el procesamiento de señal.

En la parte del *software*, se encuentran las interfaces que ayudan en la predicción de la llegada del satélite NOAA, es decir Orbitron, y la interfaz creada en NI LabView, que permite el control de las señales al trabajar en conexión con la tarjeta madre y las tarjetas secundarias del USRP.

Posteriormente, las pruebas tienen una etapa de planificación, donde intervienen varios factores como: los materiales, número de muestras, y diferentes escenarios para determinar su proceso.

La última fase se enmarca en el estudio de las señales obtenidas, los resultados de las pruebas durante el ensayo y la comprobación final del algoritmo. A continuación, se presenta el diagrama de bloques.

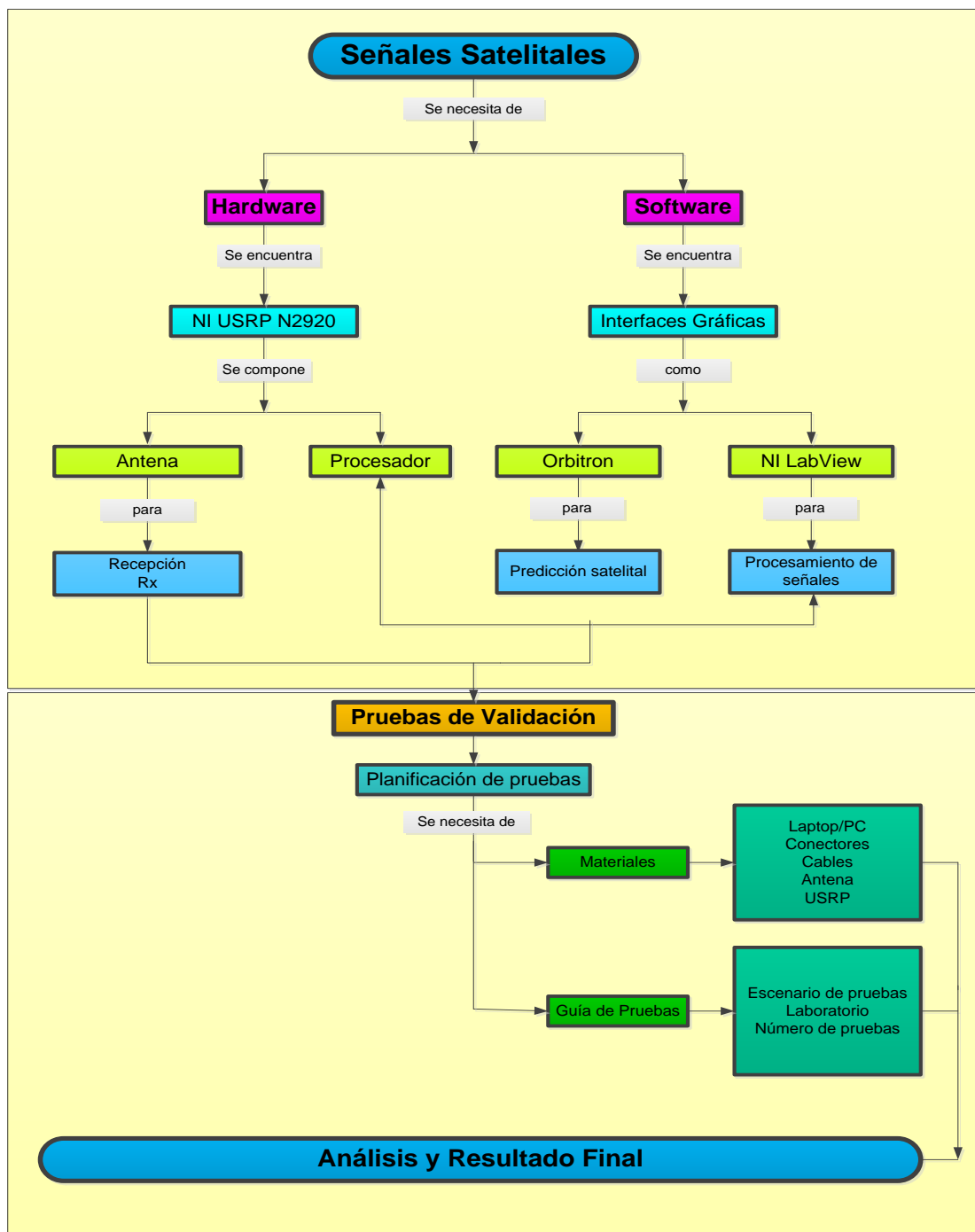


Figura 28. Diagrama de Bloques para el Desarrollo del Algoritmo

Una vez establecida cada fase, es importante presentar los métodos que intervienen acorde al funcionamiento de la siguiente manera:

2.2 Método Inductivo

Se conoce que el método inductivo aplica el criterio de estudiar lo particular para deducir una idea general. Empieza con la observación de hechos, específicos, recoge patrones, analiza y realiza experimentos para deducir leyes o principios.

En el desarrollo del algoritmo, el método inductivo interviene temas particulares como:

2.2.1 Observación

En esta etapa implica la recopilación de datos, información, características técnicas e investigación de los instrumentos que se utilizan a lo largo del proyecto, ya que sirven para identificar y conocer más a fondo el modo de operación, o uso que se debe dar a cada herramienta.

Se encuentran los elementos del diseño. Para esto es importante saber las características principales, que se indican de la siguiente manera:

2.2.1.1 Captura de señales receptadas

Para la captura de las señales satelitales, son importantes los elementos detallados a continuación con sus características:

Satélites NOAA

Los satélites NOAA, transmiten información hacia el planeta orbitando en forma polar helio-sincrónica en los modos de 137 Mhz de baja resolución APT (*Automatic Picture Transmission*).

En la actualidad se encuentran tres satélites activos de NOAA, en el primer modo de transmisión APT (tipo de señal satelital), siendo el NOAA 15, NOAA 18 y el NOAA 19, como se ilustra en la siguiente tabla los datos de cada uno.

Tabla 7.

Datos de los Satélites NOAA Activos en Órbita Baja

Descripción	NOAA 15	NOAA 18	NOAA 19
Lanzamiento	13 / 05 /1998	24 / 06 / 2002	06 / 02 / 2009
Nombre inicial	NOAA-K	NOAA-M	NOAA-N'
NASA ID	25338	27453	33591
Altura aproximada	870 km	870 km	860 km
Inclinación de la órbita	98,86°	98,78°	98,8°
Período de la Órbita	102 min	102 min	102,1 min
Frecuencia APT	137,500 Mhz	137,620 Mhz	137,1 Mhz
Frecuencia HRPT	1702,5 Mhz	1707 Mhz	1698 Mhz
Sensor	AVHRR/3	AVHRR/3	AVHRR/3

Tomado de (Mario, 2009)

Nota: En la tabla se describe los parámetros de cada satélite NOAA activo.

Para la recepción de las señales se ha seleccionado el satélite NOAA 18 debido a que presenta menos fallos en órbita y transmisión, a diferencia del satélite NOAA 15 que fue cambiada su frecuencia a 137,620 Mhz porque los satélites antiguos provocaban interferencia en su órbita, y el NOAA 19 donde interfiere el satélite Meteoro M N1 que actualmente se encuentra sin control.

Tabla 8.

Características del Satélite NOAA 18

Acrónimo	NOAA 18
Objetivo	Meteorología, agricultura y silvicultura, monitoreo ambiental, climatología, oceanografía física, monitoreo de erupción volcánica, cobertura de hielo y nieve, estudios de ozono total, ambiente espacial, análisis de flujo solar, búsqueda y rescate. (Symbios, 2017)
Altitud	854 km
Potencia	833 W
Información de acceso a datos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ La disponibilidad en tiempo real de AMSU-A, AMSU-B, AVHRR / 3, HIRS / 3, DCP y SEM / 2 (MEDEP + TED) por HRPT, WEFAX y DSB. ▪ El acceso en tiempo diferido a GAC y ALC de los archivos. ▪ Los mensajes de alerta de S & RSAT a Lut en tiempo real.
Órbita	Órbita Sincrónica
Período	Aproximadamente 102,12 minutos
Inclinación de la Órbita	98.75°
ETC	17:53 ascendente

Tomado de (Mundial, 2011 -2017)

Nota: En la tabla se detallan características del satélite NOAA 18, como el objetivo inicial y los parámetros de trabajo.

Después de mostrar los datos que se utilizan en el satélite para la captura de las señales, es preciso indicar los parámetros necesarios en la configuración del *hardware*.

2.2.1.2 Parámetros en el *Hardware*

Antena SMA 6.4Mhz 7DBi

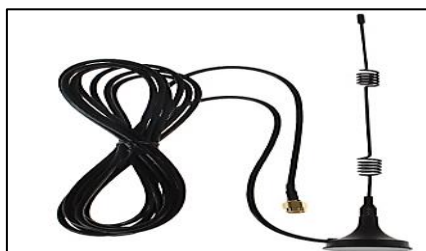


Figura 29. Antena SMA
Tomado de (AliExpress, 2017)

Características técnicas:

- frecuencia: 2371-2483 MHz
- ganancia (dBi): 7dBi
- impedancia: 50 Ohm
- VSWR < 1.5 Promedio
- Potencia máxima De Entrada: 50 W
- longitud: 266 cm
- peso: 49g

NI USRP (*Universal Software Radio Peripheral*)

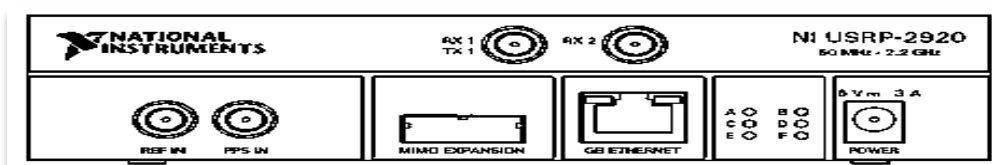


Figura 30. Estructura Física del USRP
Tomado de (Instrument N. , *Universal Software Radio Peripheral*, 2011)

Tabla 9.

Características Técnicas

Rango de Frecuencias	50Mhz – 2.2 GHz
Objetivo	Para enseñanza e investigación
Compatibilidad	Windows 8.1/Windows 7 / Vista / XP
Ancho de banda (16 bit <i>sampling</i>)	Hasta 20 Mhz
Aplicaciones	Radiodifusión, telefonía GSM, televisión, Wifi, Zigbee

Tipo de reloj	TCXO
GPS-disciplinado	No
Frec. Precisión (n Antena GPS)	2,5 ppm
conexiones	
RX1 TX1, TX2 RX2, Puertos RX2	SMA, 10 MHz
Conexión Ethernet	1 <i>gigabit ethernet</i>
Adaptador de corriente	6 VCC, 3A
MIMO puerto de expansión	SerDes de alta velocidad protocolo.

Tomado de: (Instruments, USRP-2920, 2017)

Nota: En la tabla 9 se enumeran las características técnicas del USRP.

Tabla 10.

NI USRP Transmisor

Rango de frecuencia	50 MHz to 2.2 GHz
Paso de frecuencia	<1 kHz
Máximo output power (P_{out})	50 MHz to 1.2 GHz
	50 mW to 100 mW (17 dBm to 20 dBm)
1.2 GHz to 2.2 GHz	30 mW to 70 mW (15 dBm to 18 dBm)
	0 dB to 31 dB
Rango de ganancia	1.0 dB
Precisión de frecuencia	2.5 ppm
Ancho de banda instantáneo en tiempo real máximo:	
16-bit sample width	20 MHz
8-bit sample width	40 MHz
Máxima frecuencia de muestreo I / Q	
16-bit sample width	25 MS/s
8-bit sample width	50 MS/s
Convertidor digital-analógico (DAC)	2 <i>channels</i> , 400 MS/s, 16 bit

Tomado de (Instruments, USRP-2920, 2017)

Nota: En la tabla 10 se describen los parámetros de transmisión del USRP

Tabla 11.

NI USRP Receptor

Figura de ruido	5 dB to 7 dB
Precisión de frecuencia	2.5 ppm
Ancho de banda instantáneo en tiempo real máximo	
16-bit <i>sample width</i>	20 MHz
8-bit <i>sample width</i>	40 MHz
Máxima frecuencia de muestreo I / Q	
16-bit <i>sample width</i>	25 MS/s
8-bit <i>sample width</i>	50 MS/s
Convertor analógico - digital (ADC)	2 <i>channels</i> , 100 MS/s, 14 bit
ADC sFDR	88 dB

Tomado de (Instruments, USRP-2920, 2017)

Nota: En la tabla 11 se describen los parámetros de recepción del USRP

Tabla 12.

NI USRP Potencia

Potencia total	
Típica	12 W a 15 W
Máximo	18 W
Potencia requerida	Acepta una fuente de alimentación de 6 V, 3 A externa de CC

Tomado de (Instruments, USRP-2920, 2017)

Nota: En la tabla 12 se describen los parámetros de potencia del USRP

Continuando con las etapas del desarrollo, posteriormente se presenta los interfaces gráficos, ubicándose primero Orbitron para anticiparse al punto de ubicación del satélite, y seguidamente por la interfaz realizada en LabView.

2.2.1.3 Parámetros en el *Software*

Interfaz Gráfico Orbitron

Características

- Trabaja con aproximadamente 20 000 satélites de forma instantánea.
- Puede presentarse en modo de pantalla completa.
- Sincronización del reloj de la PC vía NTP.
- Actualización de TLE (con soporte ZIP) a través de Internet, vía HTTP.
- Control de rotos / radio (drivers del usuario o incluidos).
- Compatibilidad con cualquier *Windows*.

Permite comprobar suposiciones relacionadas a la comunicación satelital, tomando referencias de datos reales, ejemplos y procesos con el objetivo de determinar métodos que intervienen en el algoritmo.

Para alcanzar dichos métodos se analizan las características iniciales como la recepción de la señal, ganancia y pérdidas en el enlace, parámetros, herramientas, programación y finalmente el desarrollo del algoritmo.

Para que sea más entendible el funcionamiento es importante pronosticar cálculos en la etapa de recepción y en la etapa de pruebas, debido a que se examinan las causas de un mal enlace, problemas de recepción, producción de ruido, ganancia, y otros campos permitiendo dar un giro en la eficiencia del algoritmo.

Interfaz Gráfico LabView

Características

Es un laboratorio virtual que tiene programación en base a códigos, gráfica, estructurada con simulación y sistemas embebidos.

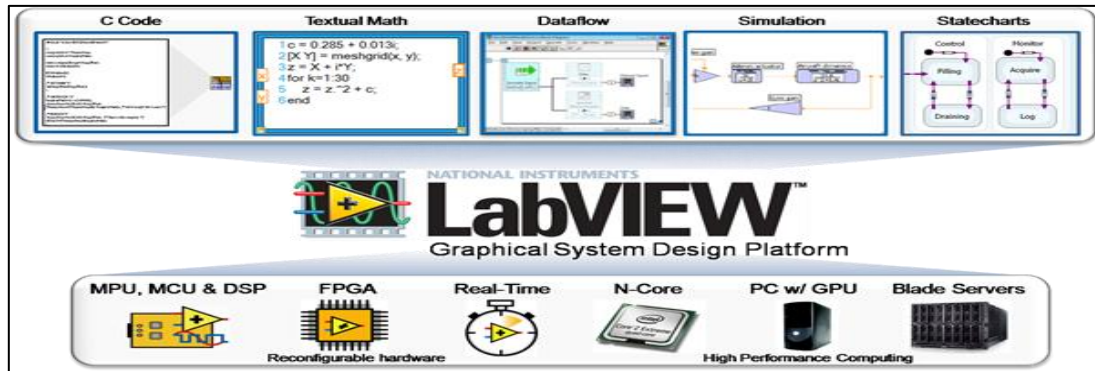


Figura 31. Funcionalidades de NI LabView
Tomado de (Know2Pro, 2013)

Otro punto que se debe tener en cuenta es la etapa de las pruebas de validación, donde los parámetros tanto para el manejo de señales y ejecución de la interfaz en diferentes escenarios ayudan a mejorar la función del algoritmo.

2.2.1.4 Pruebas de Validación

Las pruebas de validación pasan por un proceso de reconocimiento de materiales y análisis en diferentes escenarios, elaborado dentro del laboratorio de telecomunicaciones de la Universidad de las Américas.

Materiales

Los materiales necesarios para las pruebas de validación son los siguientes:

Computadora de escritorio

Descripción

Modelo: Optiplex 3020,

Procesador: Intel Core i5, 4 Cores.

Memoria Cache: 6MB y memoria RAM de 4GB

Disco Duro: 500GB,

Monitor 18.5", DVD/RW

Sistema Operativo: Windows 7 de 64-Bit.

Conectores

Descripción

Un cable de red FTP RJ45.

Cables

Descripción

Un adaptador para el USRP modo DC 6V.

NI USRP

Descripción

Modelo: N2920

Guía de Pruebas

Para la guía de pruebas se establece el enlace de recepción y sus variables, como referencia para tener conexión desde el satélite hacia la Tierra.

Antes de indicar las características del enlace, es importante conocer el tipo de variables que se encuentran presentes:

Tipo de Variables

Dentro de las variables, se pueden clasificar como: cualitativas y cuantitativas.

- **En las cuantitativas**, indican un criterio, una descripción que se puede otorgar a los elementos.
- **En las cualitativas**, indica un valor o algo que se puede contar.

Los dos tipos de variables serán tomados durante el desarrollo, y además intervienen en el enlace de comunicación, de la siguiente manera:

Enlace de Recepción

El enlace de recepción permite determinar cómo se dirige la señal hacia la Tierra, se compone de varios literales, como se visualiza en la figura 32:



Figura 32. Enlace de Recepción
Tomado de (Gérard & Michel, 2015)

Tabla 13.

Parámetros del enlace de recepción

Enlace de Recepción	
$G_{Rmáx}$	Ganancia máxima del satélite
θ_R	Ángulo de abertura
G_R	Ganancia del satélite
L	Pérdidas de trayectoria
P_R	Potencia de señal recibida
Feeder	Alimentador al Rx
L_{FRx}	Pérdidas de recepción
C	Potencia de la portadora modulada
$N_0 = kT$	Densidad espectral de potencia de ruido
R_x	Antena

Nota: En la tabla 13 se enumera las variables que se utilizan en el enlace de recepción de un sistema satelital

2.3 Estudio Exploratorio

El estudio exploratorio es útil en casos donde no existen datos pasados y se busca experimentar con nueva información o con temas poco estudiados, permitiendo familiarizarse con conocimientos nuevos.

Dentro de la investigación se ha podido conocer diferentes fuentes que han contribuido con el proyecto siendo datos importantes de libros, tesis, artículos de revistas y las páginas de Internet autorizadas a brindar información de datos

técnicos, aquí se pueden encontrar variedad de referencias como se indica en las fuentes bibliográficas del documento.

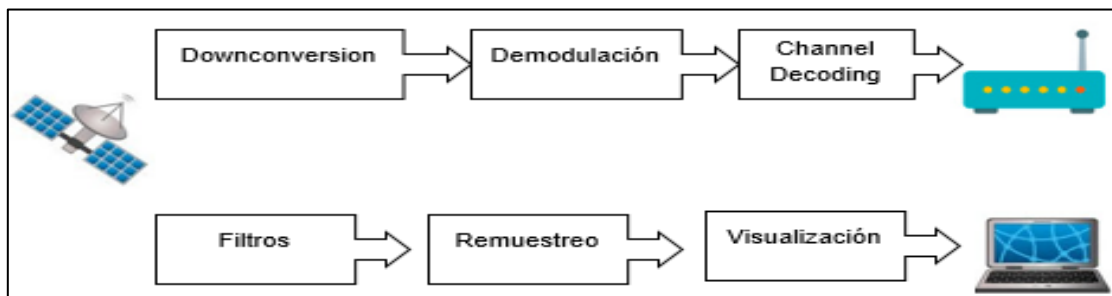


Figura 33. Proceso General

Durante el desarrollo se utiliza una serie de procesos ordenados para la recepción, almacenamiento, tratamiento de la señal, filtraje y algoritmos que mejoren la calidad.

En el proceso de captación se ha considerado los siguientes pasos:

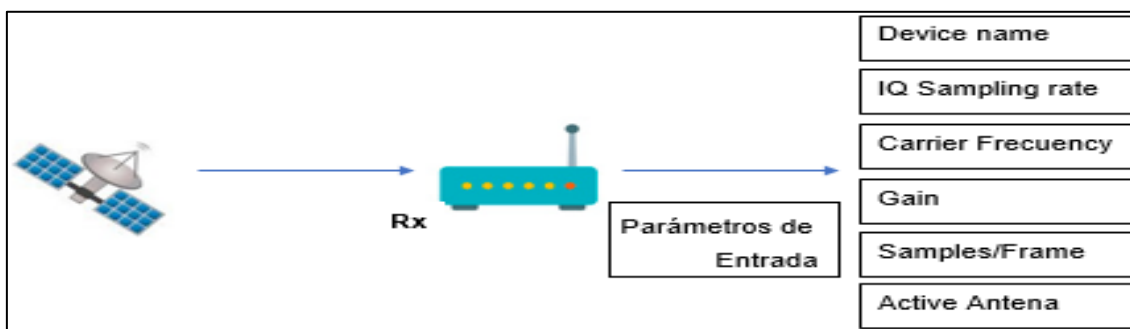


Figura 34. Procedimiento Inicial

En la recepción se utilizan parámetros como:

- La dirección IP del dispositivo USRP.
- Tasa de muestreo utilizado para el ancho de banda.
- Frecuencia portadora, es el valor que utiliza cada satélite.
- La ganancia.
- Muestras de la señal por segundo.
- La activación de la antena.

En la demodulación de RF en FM, primero se extraen los componentes IQ, esto implica que la señal recibida va a tener desfase de 90° , considerando a la señal de $\sin(x)$ y $\cos(x)$, ya que cumplen esta característica.

Permite extraer las componentes I de fase y Q de cuadratura de las muestras de la señal, para representarlas en el plano x-y, en un intervalo de tiempo dt .

El componente de demodulación FM, realiza dos procesos internamente. El primero es identificar los componentes IQ, donde utiliza I para los datos y el Q para la fase, para el último elemento lo demodula con el sistema FIR, haciendo que sea demodulada la señal.

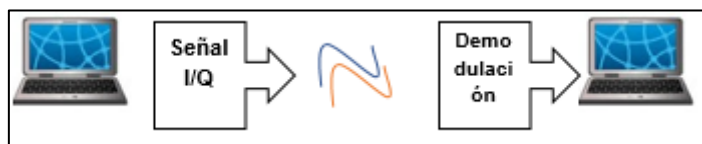


Figura 35. Proceso Intermedio

Nota: En la figura 35, el procesamiento de la señal recibida, donde los filtros actúan, para eliminar señales no deseadas.

2.3.1 Filtros

2.3.1.1 Características

Los filtros permiten acondicionar a la señal que ingresa, eliminan señales no deseadas, ruido, limita el ancho de banda a un rango útil, elimina las frecuencias superiores antes de pasar por la alineación de señales de *Aliasing*.

Toma las frecuencias bajas, reduciendo las frecuencias altas.

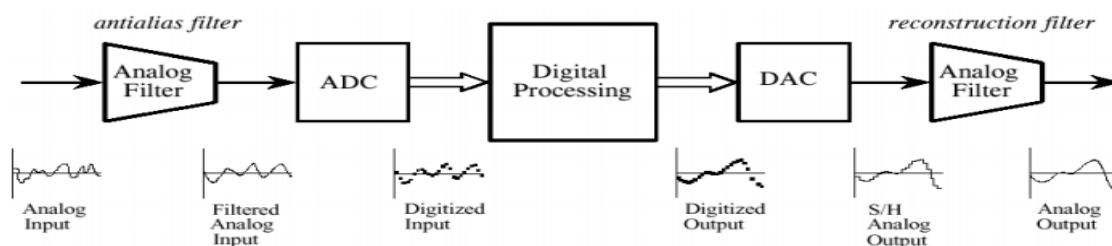


Figura 36. Reconstrucción de la señal
Tomado de (Moreno Velasco, s.f)

2.3.1.2 Tipos de Filtros

La función básica de un filtro es la recepción de la señal de entrada, pasa por un filtro o un elemento de procesamiento de señales y finalmente la señal sale.

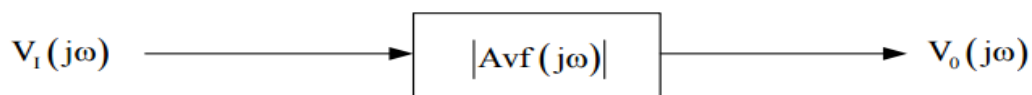


Figura 37. Esquema de filtros
Tomado de (Moreno Velasco, s.f)

Filtro Pasa Bajo

El filtro pasa bajo, rechaza las frecuencias que se encuentran por encima del rango, como se observa en la figura 38, donde representa a una banda de frecuencias inferiores.

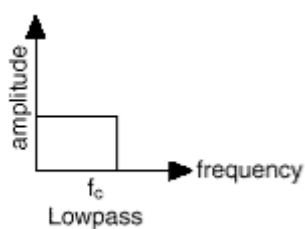


Figura 38. Filtro Pasa Bajo
Tomado de (Moreno Velasco, s.f)

Filtro Pasa Alto

El filtro pasa alto recibe las frecuencias superiores establecidas en la banda y rechaza las frecuencias inferiores.

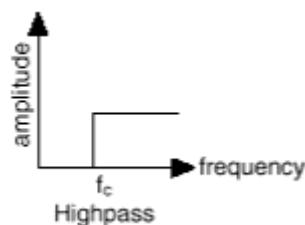


Figura 39. Filtro Pasa Alto
Tomado de (Moreno Velasco, s.f)

Filtro Paso Banda

Es la suma de los filtros pasa bajo y pasa alto donde toma las frecuencias que intersecan entre los dos filtros.

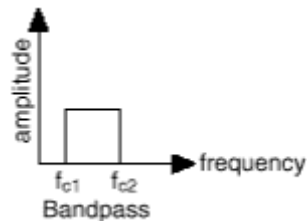


Figura 40. Filtro Pasa Banda

Tomado de (Moreno Velasco, s.f)

Filtro Rechazo Banda

Rechaza las frecuencias de la suma de los filtros pasa bajo y pasa alto, toma las frecuencias de forma opuesta al filtro paso banda.

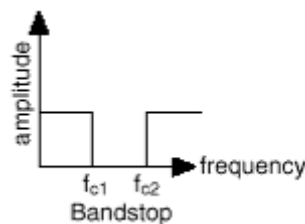


Figura 41. Filtro Banda de Parada

Tomado de (Moreno Velasco, s.f.)

2.4 Método Experimental

Dentro del Método Experimental se realizan prácticas y pruebas para comprobar conocimientos, se establecen condiciones y propiedades.

En esta fase se realizan pruebas de recepción de las señales y se procede a realizar la ejecución, va de la mano con la comprobación del funcionamiento, para determinar las conclusiones luego del análisis.

También se debe tener en cuenta que las pruebas son parte de un proceso planificado para la ejecución, obtención de resultados y análisis, obteniendo finalmente las conclusiones.

3. Capítulo III Desarrollo

3.1 Diseño

El diseño está formado por la comunicación del satélite NOAA 18 enlazado con el dispositivo NI USRP 2920 para capturar las señales, donde la interfaz Orbitron predice la ubicación del satélite en referencia a las coordenadas de ubicación del punto de recepción del laboratorio de Telecomunicaciones de la Universidad de las Américas.

Las señales pasan por el dispositivo e internamente se dirigen a las diferentes tarjetas del USRP para aplicar la tecnología *Software* definida por Radio, aquí la señal va hacia tres fases fundamentales la sección RF que transforma a una frecuencia intermedia para prepararla a la siguiente sección IF donde se convierte de analógico al digital y en la última fase conocida como sección banda base, que trabaja desde el *software* para dar tratamiento a este tipo de señales con el objetivo de disminuir el ruido y mejorar el rendimiento de la comunicación.

En el computador, las ondas son reflejadas en la interfaz programada en NI LabView, pero antes se procede con la comunicación con el NI USRP permitiendo captar, visualizar y manipular las señales.

3.1.1 Diagrama de Bloques del Diseño

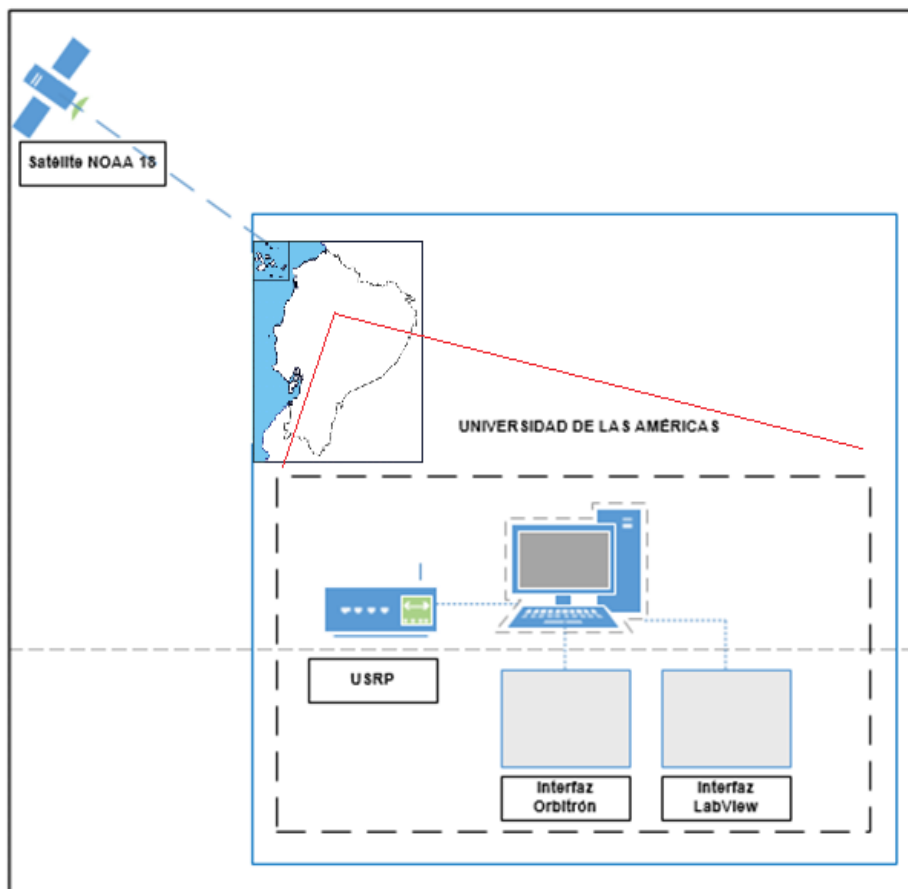


Figura 42. Diagrama de Bloques del Diseño

3.1.2 Elementos que intervienen

3.1.2.1 Satélite NOAA 18

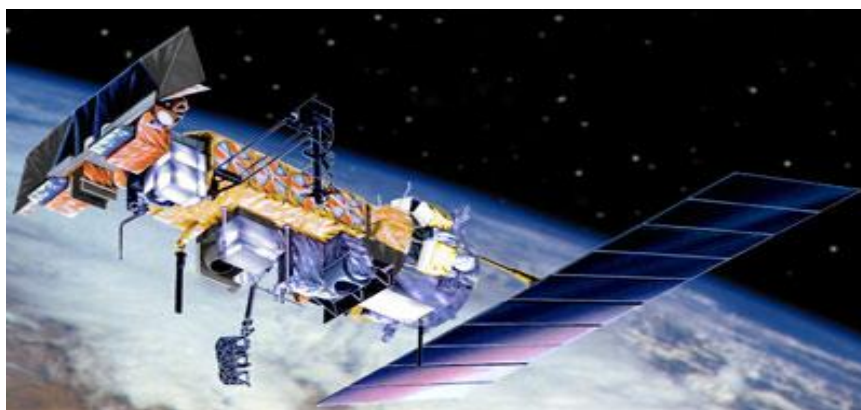


Figura 43. Satélite NOAA 18
Tomado de(Space, 2017)

3.1.2.2 Interfaz Orbitron

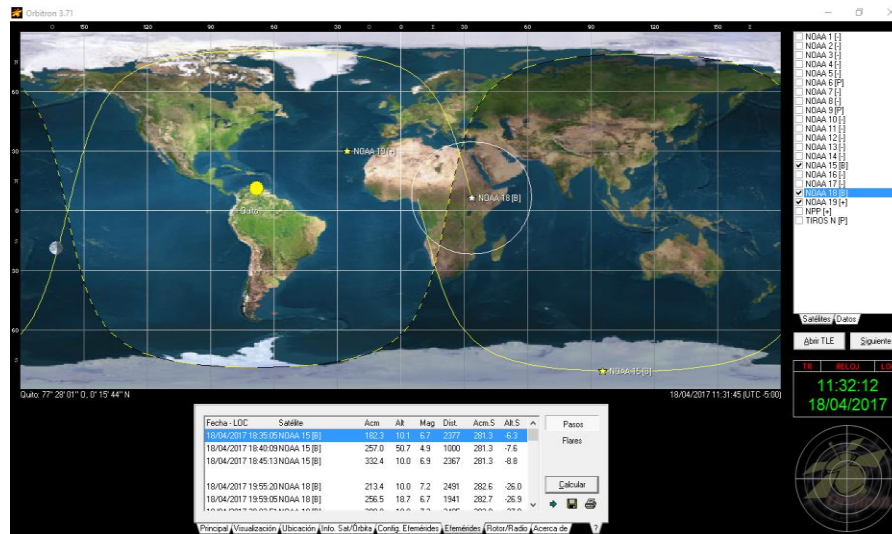


Figura 44. Interfaz Orbitron
Tomado de (Orbitron, s.f.)

3.1.2.3 Antena SMA

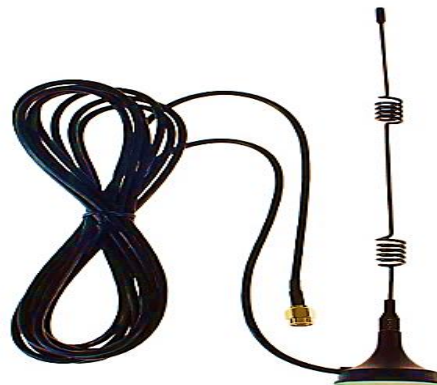


Figura 45. Antena SMA
Tomado de (AliExpress, 2017)

Mejora la intensidad y el alcance de las señales al tener una ganancia alta. La antena se caracteriza en añadir mayor energía, esclareciendo los puntos de una red.

Tiene una ganancia de alta para mejorar el rendimiento de la señal.

3.1.2.4 NI USRP 2920



Figura 46. NI USRP 2920
Tomado de (Instrument N. , USRP-2920, 2017)

Tabla 14.

Panel Frontal del USRP

Conector	Función
RX1	Entrada de señal de RF.
TX1	Terminal de la señal con un conector SMA (f) de impedancia 50 Ω , y es un canal de entrada o de salida de un solo extremo.
RX2	Terminal de entrada de señal de RF. RX2 es un conector SMA (f) con una impedancia de 50 Ω , y es un canal de entrada de un solo extremo.
REF EN	El terminal de entrada para una señal de referencia externa para el oscilador local (LO) en el NI USRP-2920. REF IN es un conector SMA (f) con una impedancia de 50 Ω , y es una entrada de referencia de un solo extremo. REF IN acepta una señal de 10 MHz con un rango de 0 dBm a 15 dBm.
EN PPS	Pulso por segundo de temporización de referencia terminal de entrada. PPS IN es un conector SMA (f) con una impedancia de 50 Ω , y es una entrada de un solo extremo. PPS EN acepta 0 V a 3,3 V TTL y 0 V a 5 V señales TTL.
EXPANSIÓN MIMO	El puerto de interfaz de expansión de múltiples entradas, múltiples salidas (MIMO) conecta dos dispositivos USRP utilizando un cable MIMO compatible.
GB ETHERNET	El puerto <i>Gigabit Ethernet</i> acepta un conector <i>Gigabit Ethernet</i> y cable RJ-45 compatible (categoría 5, categoría 5e o categoría 6).

POWER La entrada de energía acepta un conector de alimentación de CC externa 6 V, 3.

Tomado de (Instruments, Front Panel and Connectors, 2011)

Nota: la tabla 14 describe los componentes del NI USRP 2920

3.1.2.5 NI LABVIEW

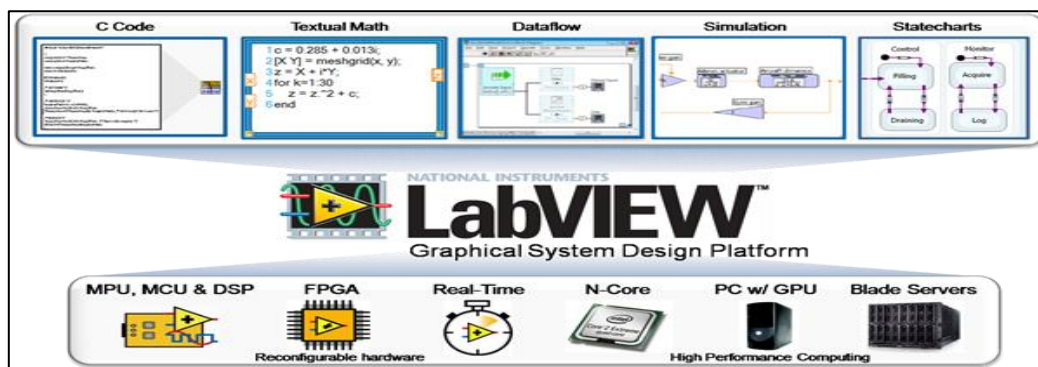


Figura 47. NI LabVIEW Graphical System Design Platform
Tomado de (Know2Pro, 2013)

Después de conocer cada elemento, se procede con los cálculos para el enlace, detallados a continuación:

3.1.3 Cálculos y Configuración

3.1.3.1 Cálculos del Enlace del satélite NOAA 18 – NI USRP 2920

El enlace está compuesto por el satélite NOAA 18 en la parte de la transmisión ya que envía las señales y son recibidas por la antena conectada al USRP parte de la recepción.

Se trabaja con la antena para el enlace que cumple los parámetros iniciales como:

Parámetros de la Antena del NI USRP 2920

Rango de Frecuencias: 2371-2483 MHz

Ganancia: 7dBi

Impedancia: 50 Ohm

Potencia máxima de Entrada: 50 W

VSWR < 1.5 Promedio

Diámetro: 3 mm

Longitud: 266 cm

Peso: 49g

Polaridad: Omnidireccional

Una de las características que destacan en la antena del USRP es la polaridad, ya que al ser omnidireccional contribuye con los cálculos al facilitar los datos de referencia con respecto a la longitud y frecuencia.

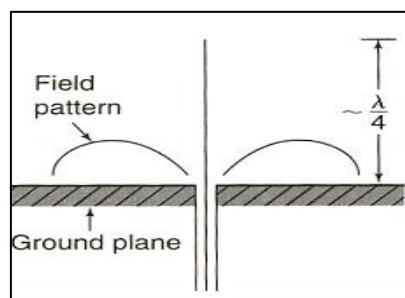


Figura 48. Monopolo Omnidireccional
Tomado de (Instrument N. , NI USRP, 2017)

Las características de la antena monopolo omnidireccional contribuyen con datos como el diámetro que puede ser equivalente a los 3 mm y con la velocidad de la luz de 3×10^8 [m/s], se puede determinar el valor de la longitud de onda y frecuencia, de la siguiente manera:

$$D \approx 0,003 \therefore \frac{\lambda}{4} \quad \text{(Ecuación 25)}$$

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad \text{(Ecuación 26)}$$

$$= \frac{3 \times 10^{10} \text{ [cm/s]}}{f}$$

$$\frac{\lambda}{4} = 2.66 \text{ m}$$

$$\lambda = 2.66 \text{ m} * 4 = 10.64 \text{ m} \Rightarrow 10.64 \text{ m} = \frac{3 \times 10^8 \text{ [m/s]}}{f}$$

$$\lambda = 10.64 \text{ m}$$

$$f = \frac{3 \times 10^8 \text{ [m/s]}}{10.64 \text{ cm}} = 28.2 \text{ [Mhz]}$$

Patrón de Radiación

El patrón de radiación de la antena indica una mayor dirección para tomar las señales y emitir en pocas proporciones hacia otras direcciones.

Cuando existe alta ganancia la energía se concentra y muestra una mejor dirección.

Cuando existe baja ganancia, el patrón de radiación puede ser proyectado de forma amplia.

Ganancia

$$G_t = \eta \left(\frac{\pi D_f}{c} \right)^2 \quad (\text{Ecuación 5})$$

$$G_t = 7 \text{ dBi}$$

Impedancia

$$Z = 50\Omega$$

Ganancia Máxima

Tabla 15.

Ganancia Directiva Máxima

Longitud del monopolo (H)	Ganancia de potencia (dBi)
$H \ll \lambda$	4.77
$\lambda/4$	5.16
0.311λ	5.38
$\lambda/2$	6.83

Tomado de (Pérez Vega & Casanueva López, 2012)

Nota: Ganancia y Patrón de Radiación

Área Efectiva

$$A_{eff} = \frac{\lambda^2}{4\pi} * G_{m\acute{a}x} \quad (\text{Ecuación 27})$$

$$A_{eff} = \frac{(10.64 \text{ m})^2}{4\pi} * (5.16 \text{ dBi})$$

$$A_{eff} = 46.48$$

La potencia radiada del monopolo es el doble del dipolo. Por tanto, un dipolo $\lambda/2$ tiene una ganancia máxima de 2.15, al ser monopolo $\lambda/4$, equivale a 3dB mayor, siendo 5.15 dBi.

Potencia máxima de Entrada: 50 W

Potencia Isotrópica Radiada Equivalente PIRE

$$\text{EIRP(dB)} = P_{T(\text{dB})} * G_T (W) \quad (\text{Ecuación 9})$$

$$\text{EIRP(dB)} = 10 \log(P_{T(\text{dB})}) * G_T (W)$$

$$\text{EIRP(dB)} = 10 \log(50(\text{dBm})) * 5.16\text{dBi} + 2.15(\text{dB})$$

$$\text{EIRP(dB)} = 124.194(\text{dB})$$

Pérdidas causadas por cables

$$L_C = 10 \log_{\rho} \left(\frac{l}{\pi r} \right)$$

$$L_C = 10 \log_{\rho} \left(\frac{2.66 \text{ m}}{\pi(1.5)} \right)$$

$$L_C = -2.48$$

(Ecuación 10)

Balance de la Potencia

$$P_{RX} = P_T - L_{FTX} + G_{Tm\acute{a}x} - L_{FRX} + G_R$$

$$P_{RX} = 50\text{dBm} - 0 + 7.31\text{dB} - 2.48 + 7$$

$$P_{RX} = 7.35\text{dB} - L_{FRX} + G_R$$

$$P_{RX} = 61.83 \text{ [dB]}$$

Pérdidas por Propagación

$$L_p(\text{dB}) = 20 \log \left(\frac{4\pi Df}{c} \right) \quad (\text{Ecuación 13})$$

$$L_{p(dB)} = 20 \log \left(\frac{4\pi(0.003)(28,2 \text{ Mhz})}{3 \times 10^8 (m/s)} \right)$$

$$L_{p(dB)} = -49.01$$

Una vez obtenido los cálculos para el enlace entre el satélite NOAA y la antena del dispositivo USRP, se desea conocer la predicción de la ubicación del satélite, ya que contribuye con la comunicación entre los dos elementos.

Para llevar a cabo este pronóstico es importante saber el funcionamiento de la interfaz que se va a utilizar, siendo Orbitron la herramienta para determinar los puntos de coordenadas en la etapa de recepción, el cual se procede con la instalación, como describe en el siguiente punto:

3.1.3.2 Instalación y configuración de Orbitron

Orbitron es un *software* de libre uso y gratuito, puede ser adquirido directamente desde la página web oficial STOFF (Sistema de Seguimiento de Satélite Orbitron), el mismo logra predecir la llegada de los satélites ubicados alrededor del mundo, presenta información como la longitud, latitud, altura, órbita y coordenadas.

Es importante conocer los pasos para su instalación y configuración antes de utilizar el programa.

Pasos para la Instalación de Orbitron:

1. Dirigirse a la dirección <http://www.stoff.pl/>



Figura 49. Página de enlace <http://www.stoff.pl/>
Tomado de (Stoff, 2007)

2. En la opción *Downloads* seleccionar *More downloads*, ya que se puede ver detalles de las versiones recientes de Orbitron, drivers y otros anexos.

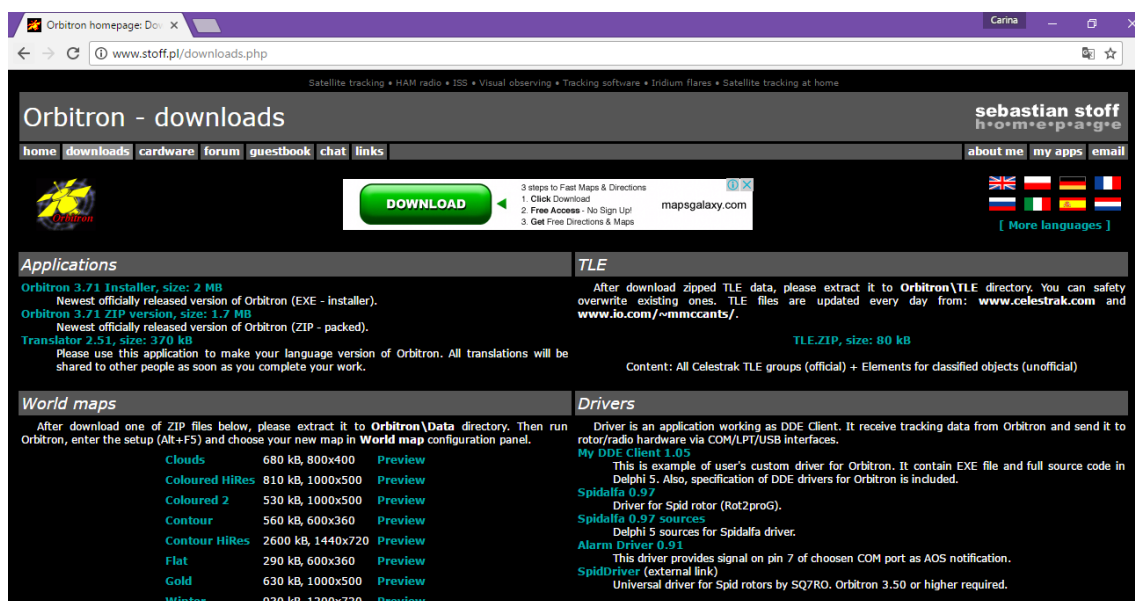


Figura 50. Área de descarga de Orbitron
Tomado de (Stoff, 2007)

3. Seleccionar la forma básica que es Orbitron 3.71 *Installer, size: 2MB*.

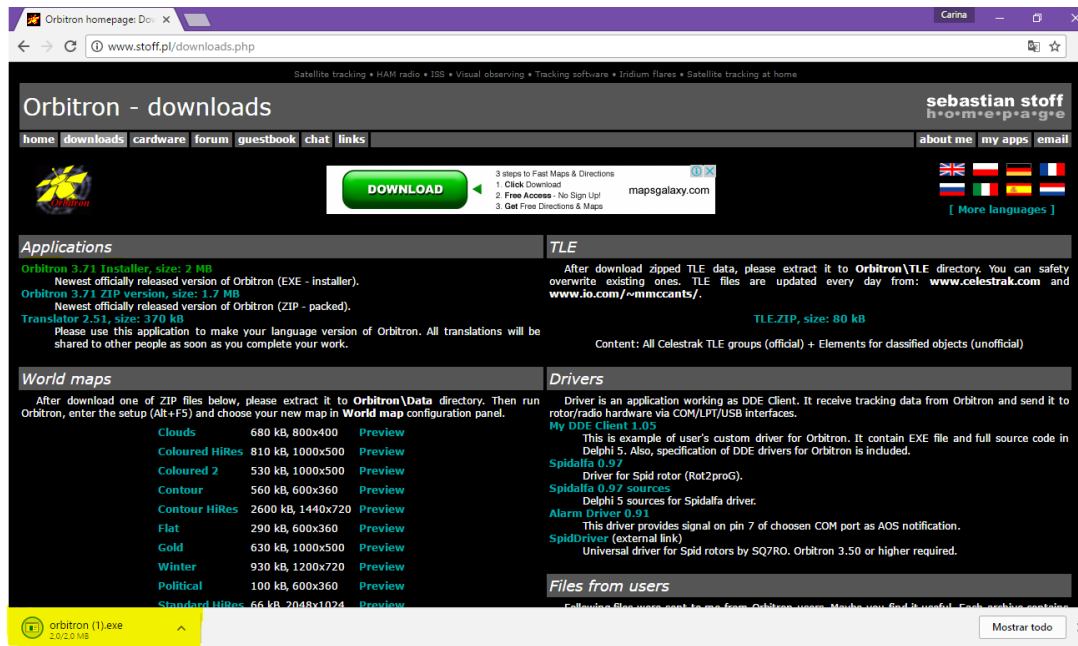


Figura 51. Orbitron 3.71
Tomado de (Stoff, 2007)

4. Automáticamente empieza a descargarse el ejecutable.
5. Abrir la carpeta de destino y ejecutar como administrador.

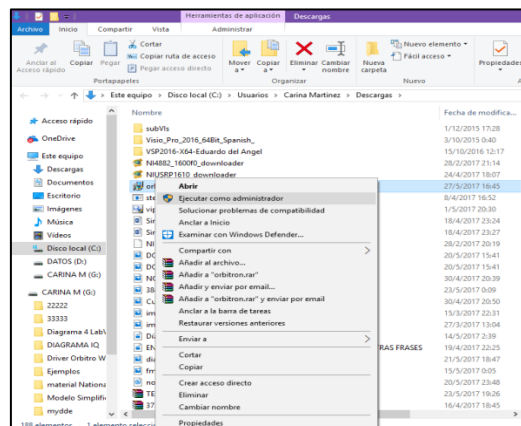


Figura 52. Ventana para la ejecución como administrador

6. Escoger el idioma, en este caso se selecciona español y aceptar.

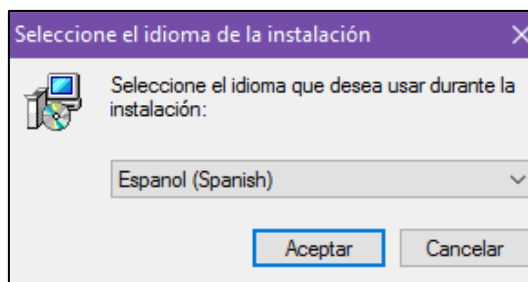


Figura 53. Selección de Idioma
Tomado de (Stoff, 2007)

7. En el mensaje de bienvenida, colocar Siguiente.



Figura 54. Ventana de Bienvenida para la instalación
Tomado de (Stoff, 2007)

8. Validar la dirección de instalación de Orbitron.

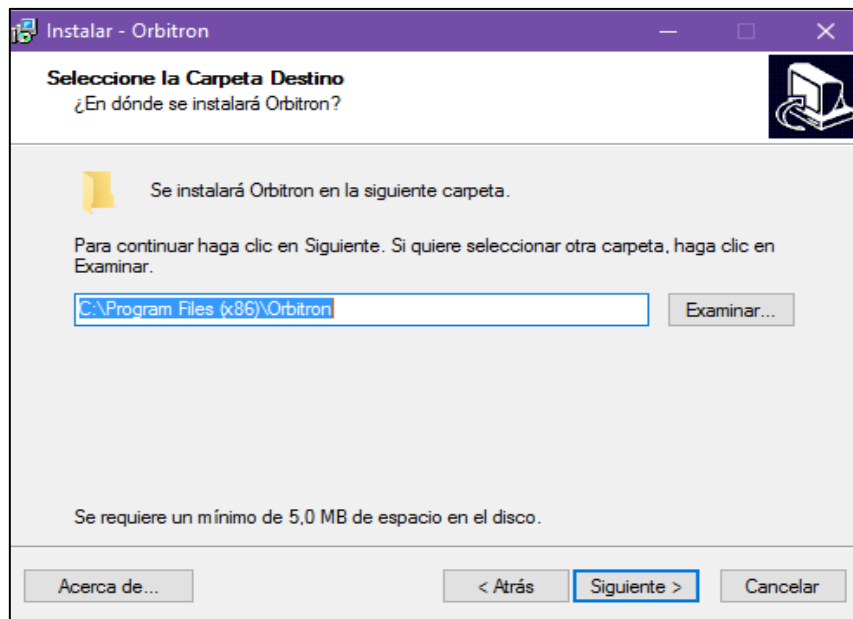


Figura 55. Path de destino para la instalación de Orbitron
Tomado de (Stoff, 2007)

9. Seleccionar los componentes para la instalación y colocar siguiente.

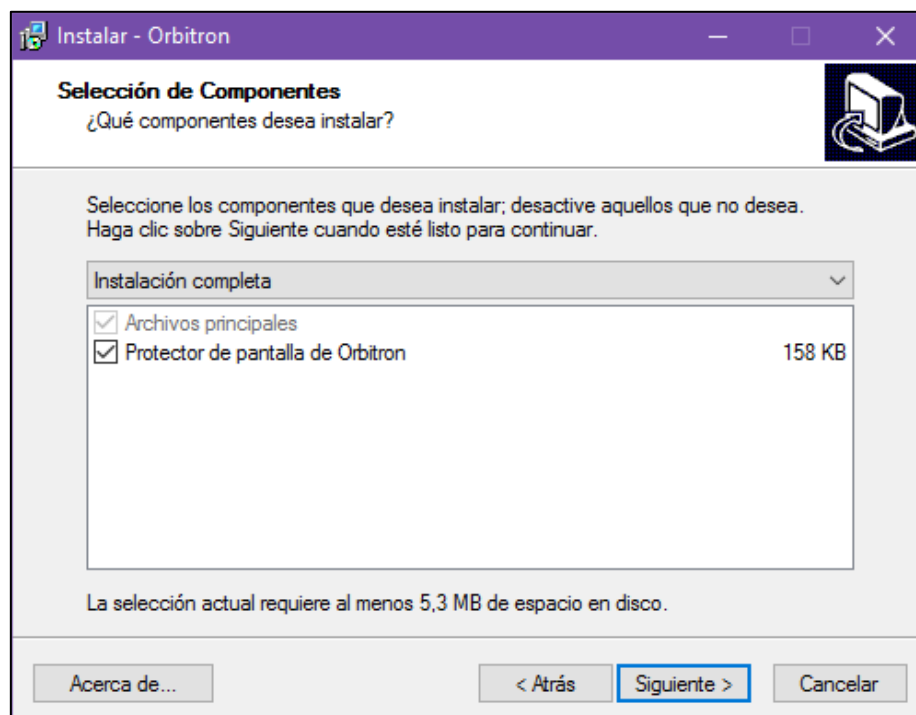


Figura 56. Instalación de componentes adicionales
Tomado de (Stoff, 2007)

10. Seleccionar tareas adicionales y Siguiete.

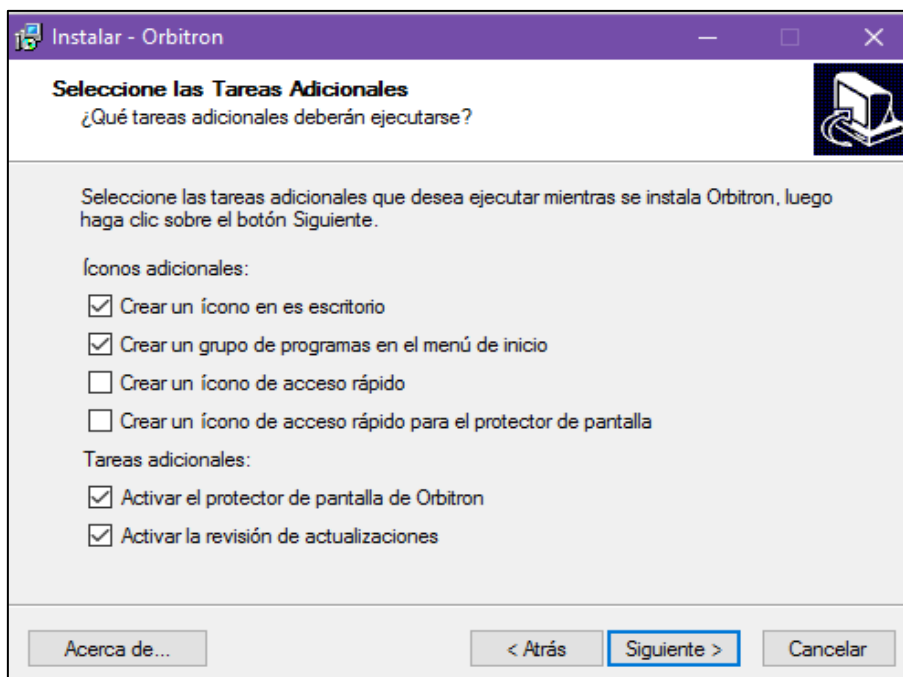


Figura 57. Tareas adicionales antes de la instalación
Tomado de (Stoff, 2007)

11. Aparece un mensaje que dice Listo para instalar y hacer clic en Instalar.

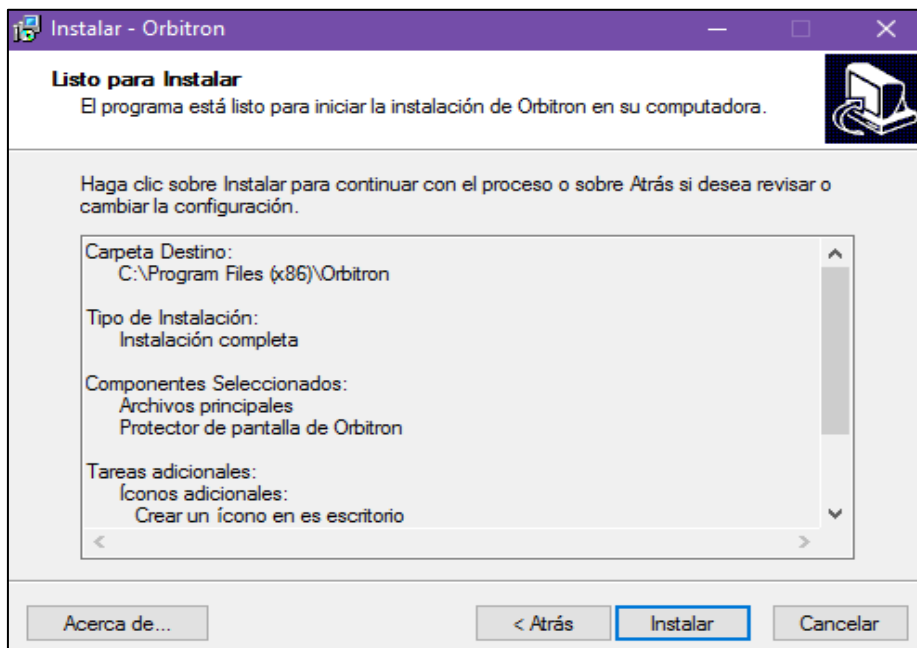


Figura 58. Ventana de confirmación para instalar
Tomado de (Stoff, 2007)

12. Se visualiza la barrera de progreso de instalación y esperar que finalice.

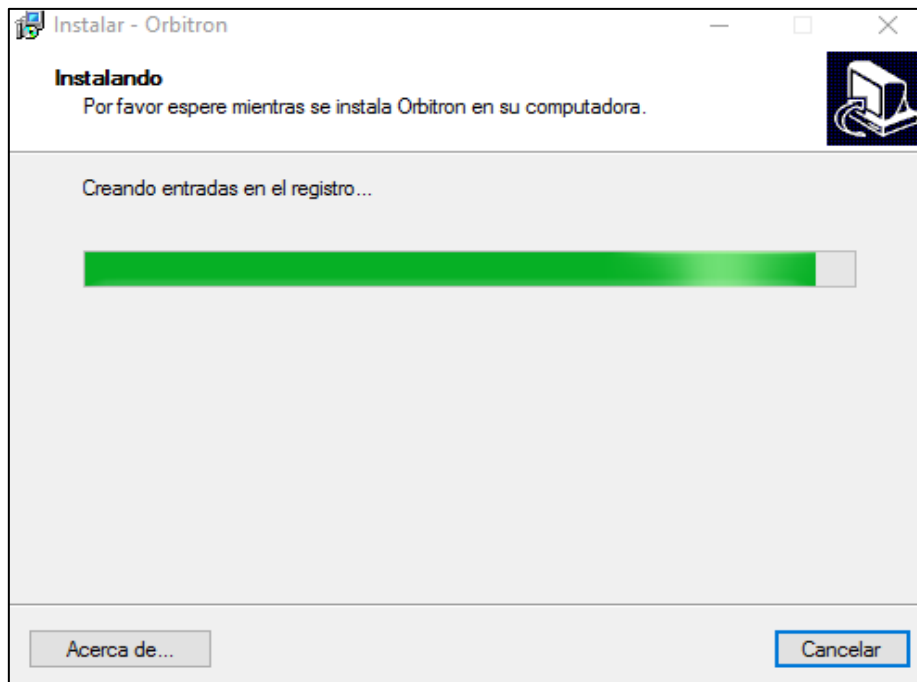


Figura 59. Ventana de progreso
Tomado de (Stoff, 2007)

13. Al terminar la instalación aparece el Asistencia de finalización y colocar Terminar.



Figura 60. Finalización del asistente de instalación de Orbitron
Tomado de (Stoff, 2007)

14. De forma automática se abre Orbitron e indica que se debe actualizar los datos TLE, colocar sí.

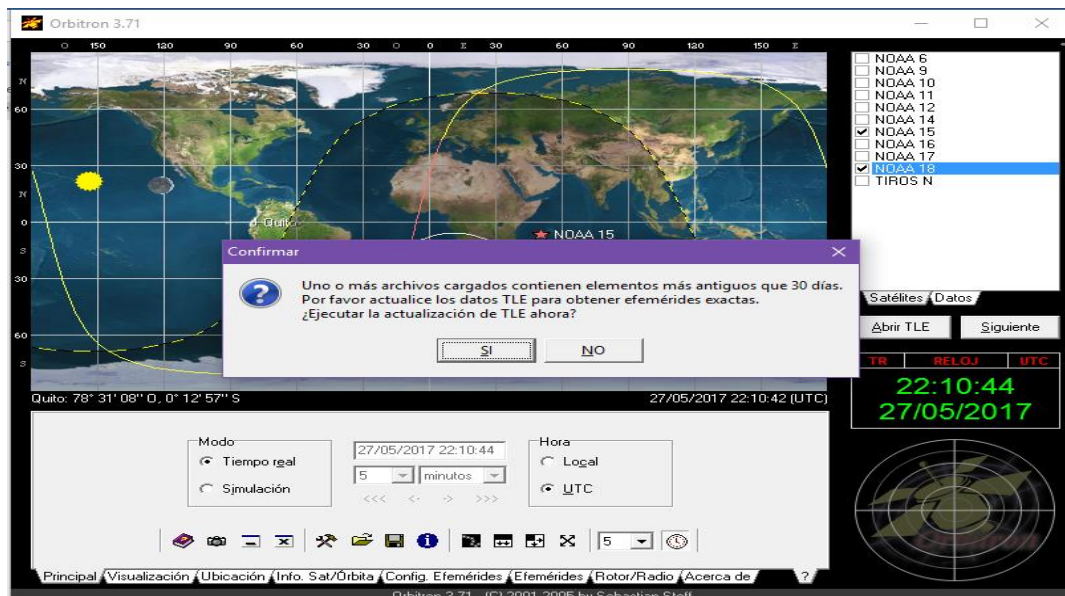


Figura 61. Actualización de datos TLE
Tomado de (Stoff, 2007)

15. Aparece la barra de Actualización, esperar y colocar Aceptar.

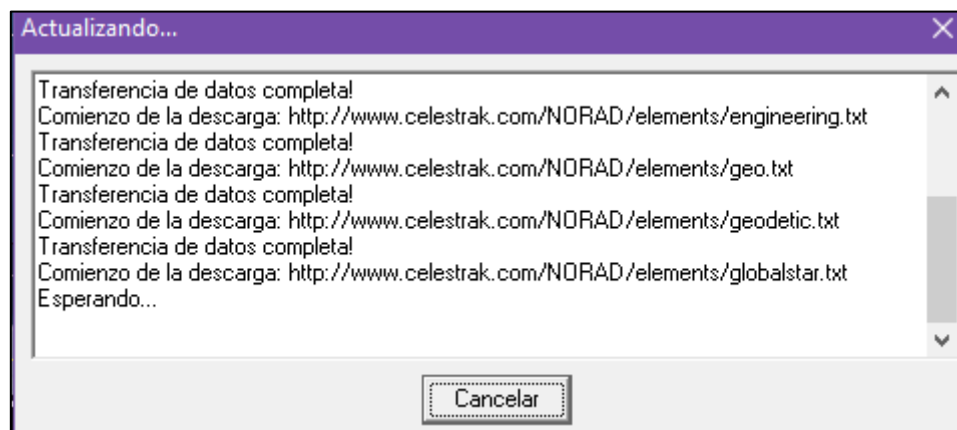


Figura 62. Mensaje de progreso de actualización
Tomado de (Stoff, 2007)

16. La instalación está lista y se procede con la configuración.

Pasos para la configuración de Orbitron:

En el panel inferior de Orbitron debe realizar las siguientes configuraciones:

1. Luego dirigirse a la parte superior derecha de la interfaz de Orbitron y seleccionar configuración.

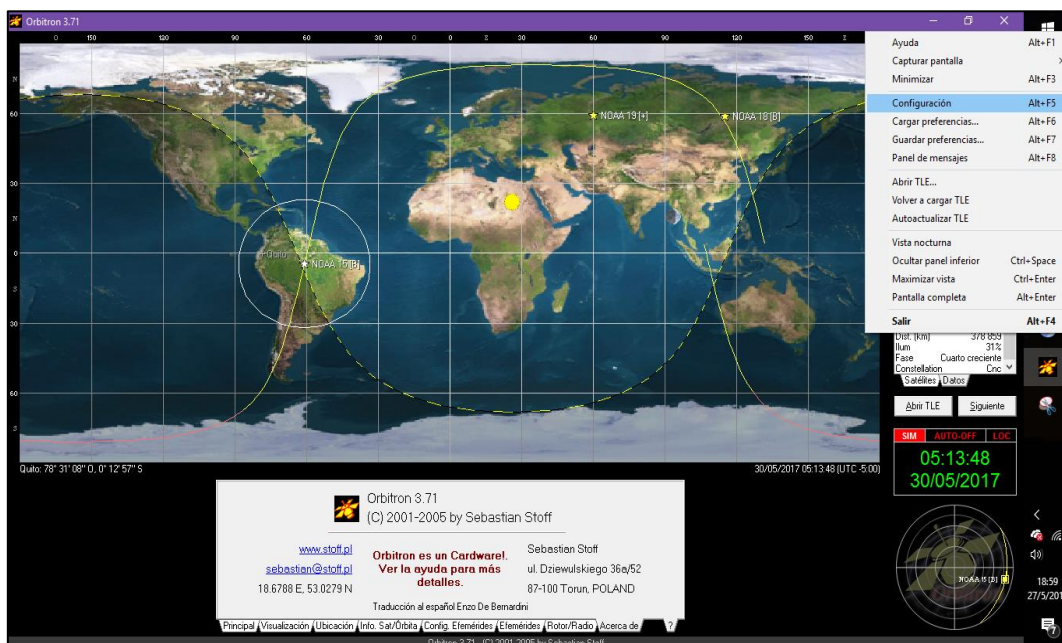


Figura 63. Configuración de Orbitron
Tomado de (Stoff, 2007)

2. En la ventana de configuración seleccionar las siguientes opciones que se observan en la siguiente imagen.

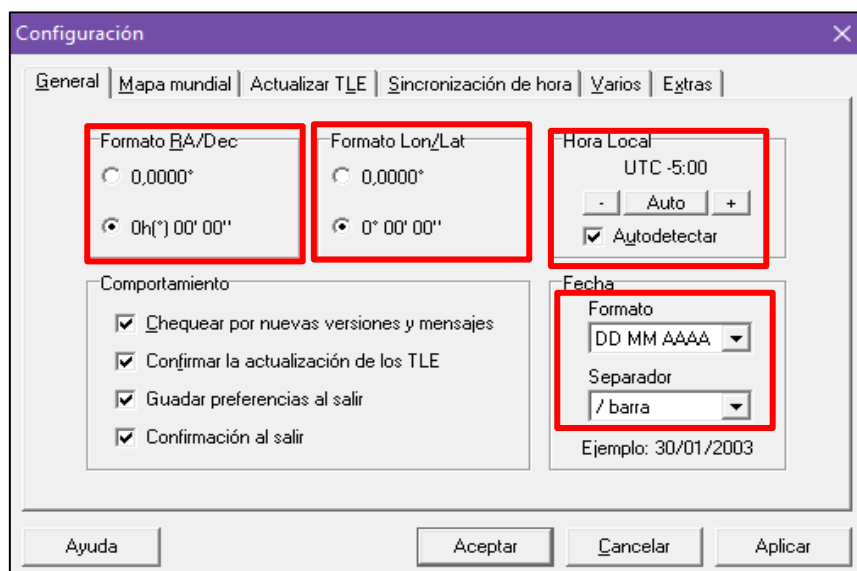


Figura 64. Ventana Configuración General
Adaptado de (Stoff, 2007)

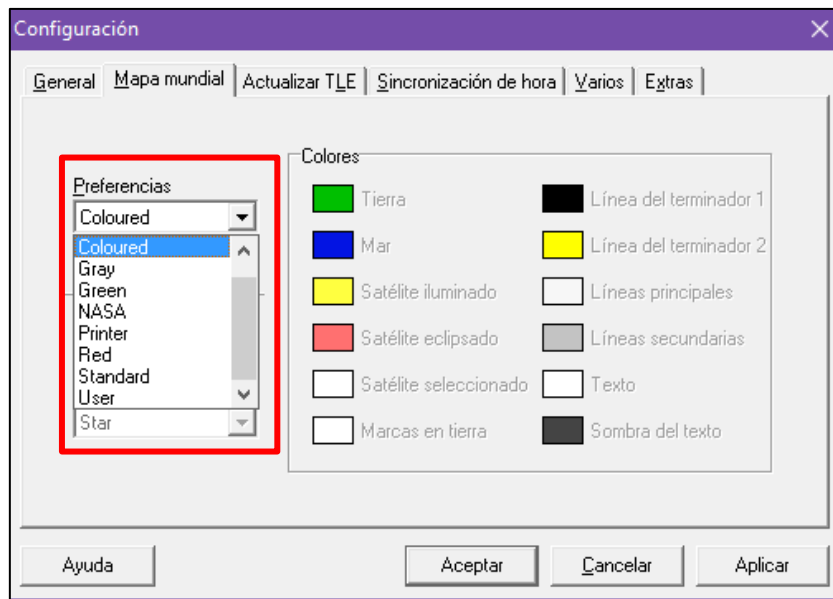


Figura 65. Ventana Configuración de Mapa mundial
Adaptado de (Stoff, 2007)

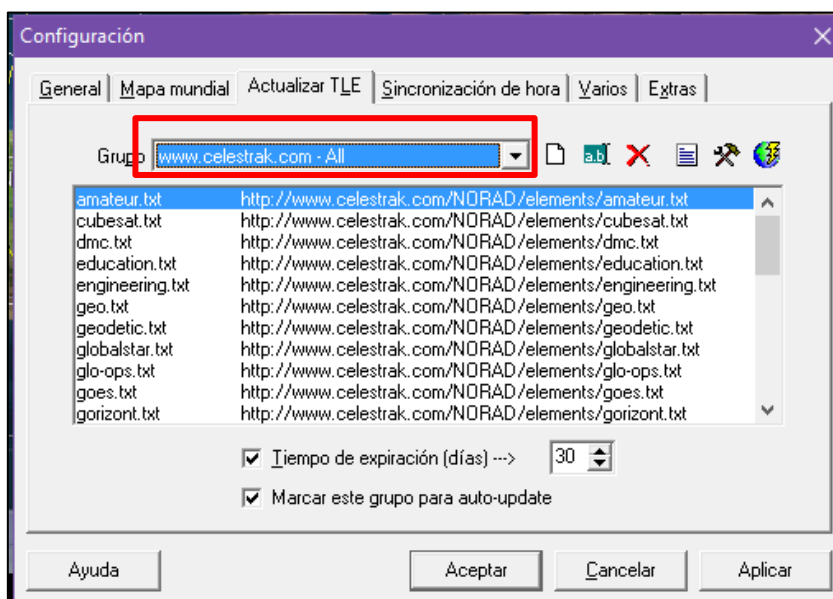


Figura 66. Ventana Configuración TLE
Adaptado de (Stoff, 2007)

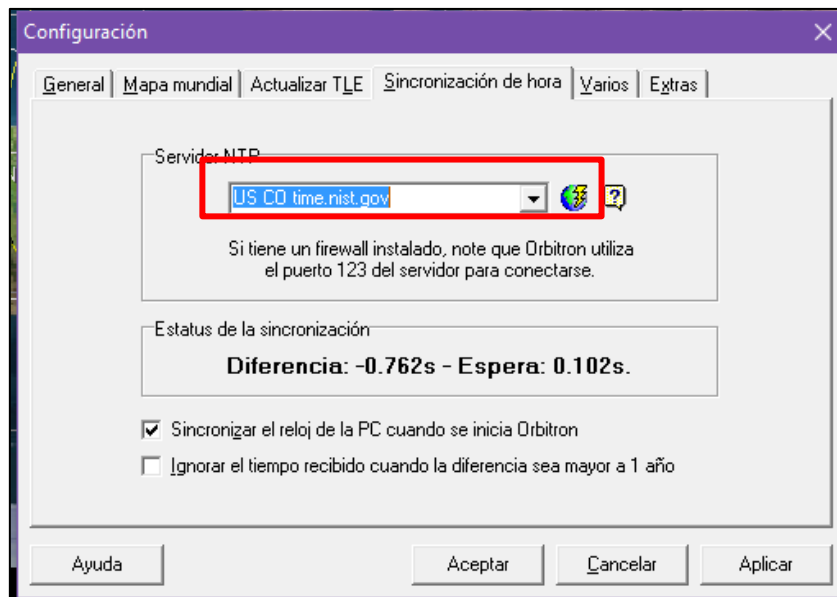


Figura 67. Ventana Configuración Sincronización de hora
Adaptado de (Stoff, 2007)

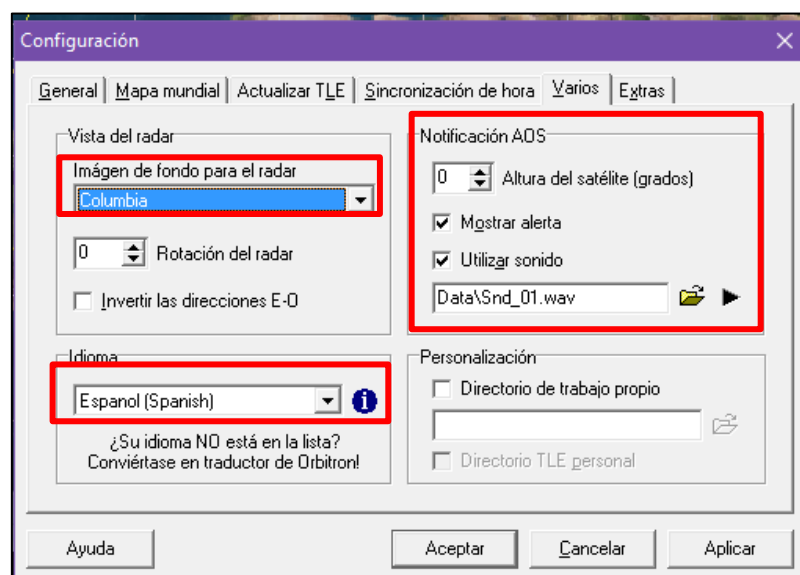


Figura 68. Ventana de Varias Configuraciones
Adaptado de (Stoff, 2007)

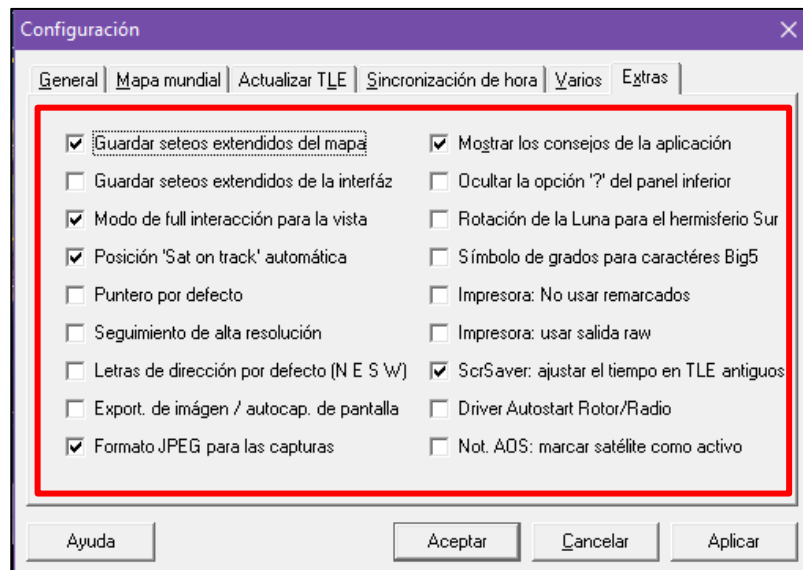


Figura 69. Ventana Configuración de Extras
Adaptado de (Stoff, 2007)

3. Colocar aplicar y aceptar.

4. Para utilizar los satélites NOAA, dirigirse a la parte superior derecha y hacer clic en Abrir TLE.

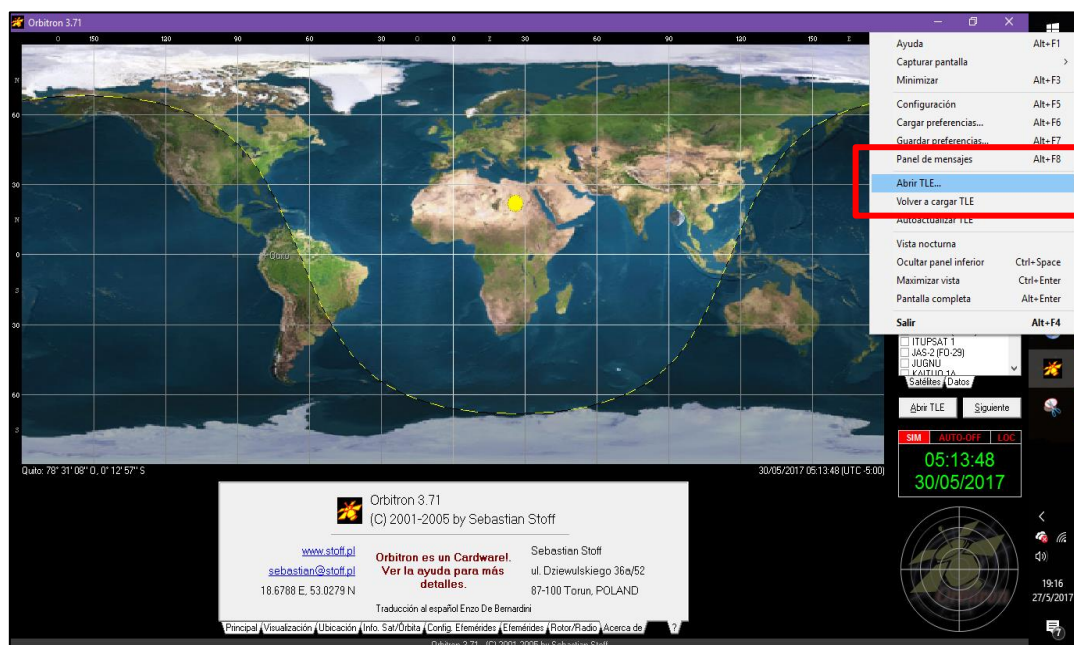


Figura 70. Configuración de satélites NOAA
Adaptado de (Stoff, 2007)

5. Se abre una ventana con la información de los satélites, seleccionar el archivo noaa y abrir.

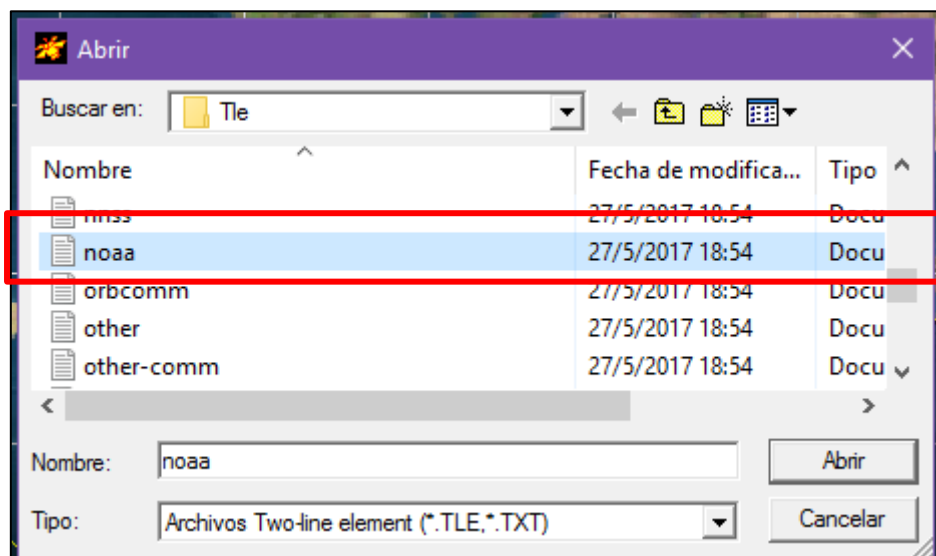


Figura 71. Ventana de archivo NOAA
Adaptado de (Stoff, 2007)

6. Se desplegará todos lo NOAA, seleccionamos los satélites activos como son el NOAA 15, NOAA 18 y NOAA 19.

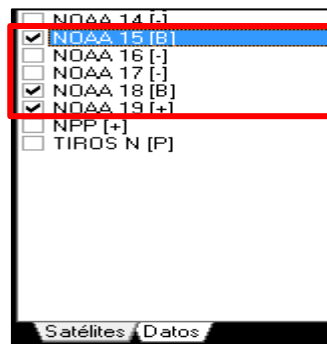


Figura 72. Satélites activos
Adaptado de (Stoff, 2007)

7. En la pestaña Principal seleccionar en modo tiempo real y la hora local.

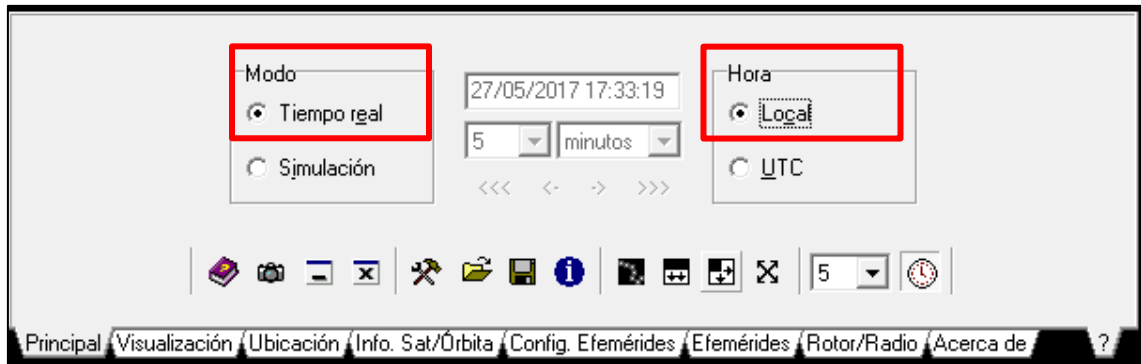


Figura 73. Configuración del tiempo
Adaptado de (Stoff, 2007)

8. En la pestaña de visualización, debe contener en mini radar la opción activa y seleccionar nombres, dirección y trayectoria.

En Recorrido del satélite en seguimiento, seleccionar principio y mapa.

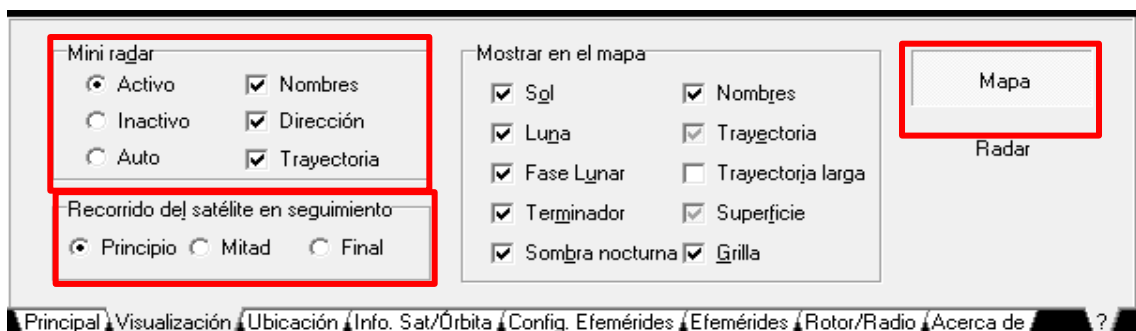


Figura 74. Configuración de Visualización
Adaptado de (Stoff, 2007)

9. En la pestaña de ubicación se debe buscar en *Word*, la ciudad Quito, caso contrario si no se encuentra se debe colocar la longitud y latitud apoyándose de *Google Maps*.

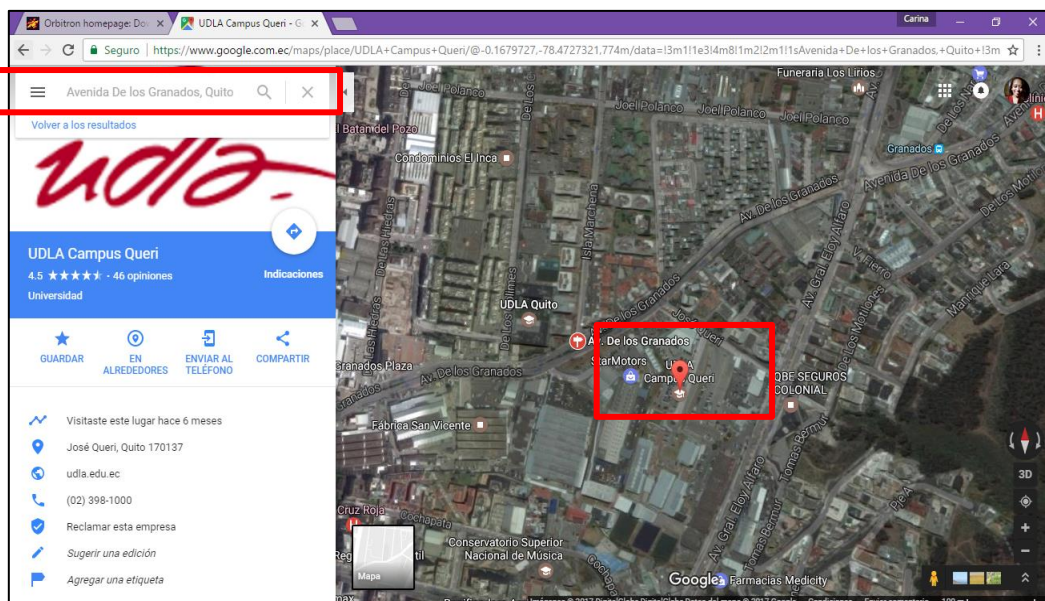


Figura 75. Punto de ubicación
Adaptado de (Google Maps, s.f)

10. Clic derecho y seleccionar la opción ¿Qué hay aquí?



Figura 76. Selección de coordenadas
Adaptado de (Google Maps, s.f)

11. Se despliega las coordenadas del Campus Queri de la UDLA.



Figura 77. Visualización de coordenadas
Adaptado de (Google Maps, s.f)

Latitud: -0.168680

Longitud: -78.470744

12. Agregar la latitud y longitud en Orbitron, también el nombre de la ubicación como Quito, hacer clic en agregar y validar en *Word* y en el mapa.

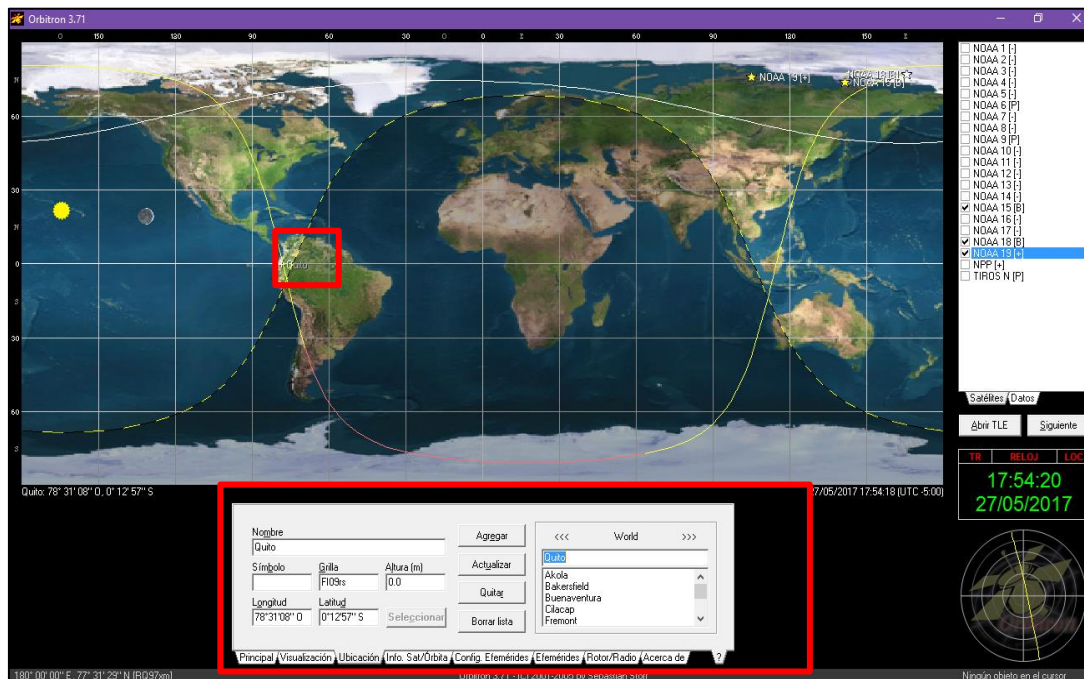


Figura 78. Punto de Ubicación desde Orbitron
Adaptado de (Stoff, 2007)

13. En la pestaña configuración de efemérides, se coloca los días que se desea predecir y las condiciones.

En este caso es para tres días y las condiciones se mantienen por defecto.

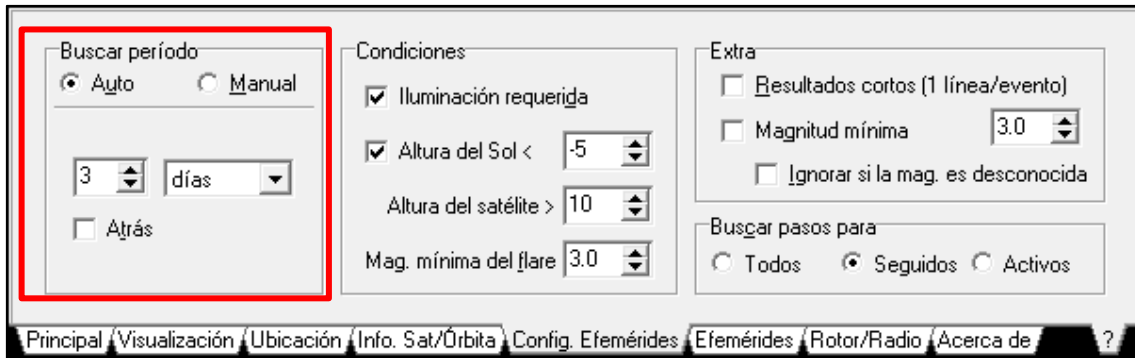


Figura 79. Configuración d Efemérides
Adaptado de (Stoff, 2007)

14. La pestaña efemérides permite calcular la fecha y el tiempo de los tres días previamente configurados para los satélites activos de NOAA es decir 15, 18 y 19.
15. Seleccionar la opción pasos y proceder a calcular, se despliega una ventana de búsqueda y al finalizar colocar aceptar.
16. En el recuadro de la izquierda se visualiza la fecha, localización, el nombre del satélite, el acimut, altura, magnitud, distancia, acimut del sol y altura del sol.

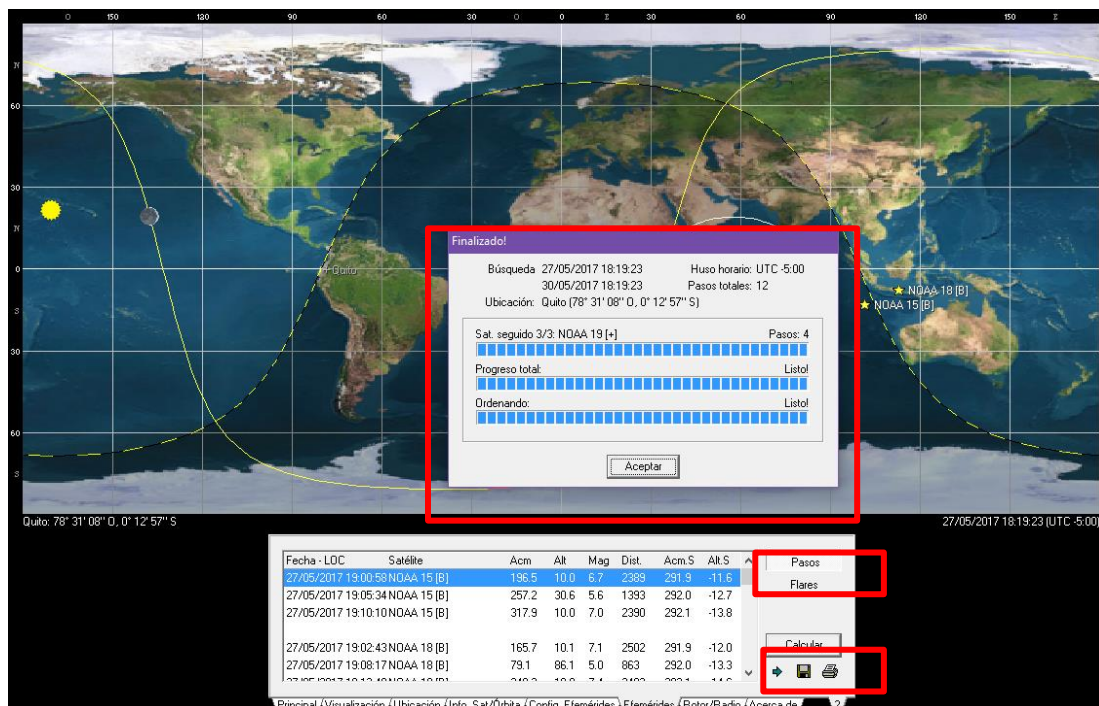


Figura 80. Cálculo de predicción
Adaptado de (Stoff, 2007)

17. En la pestaña de rotor/radio, seleccionar FM en el modo *Down link*, ejecutar el driver WispDDE que se encuentra en la página de descarga de Orbitron.

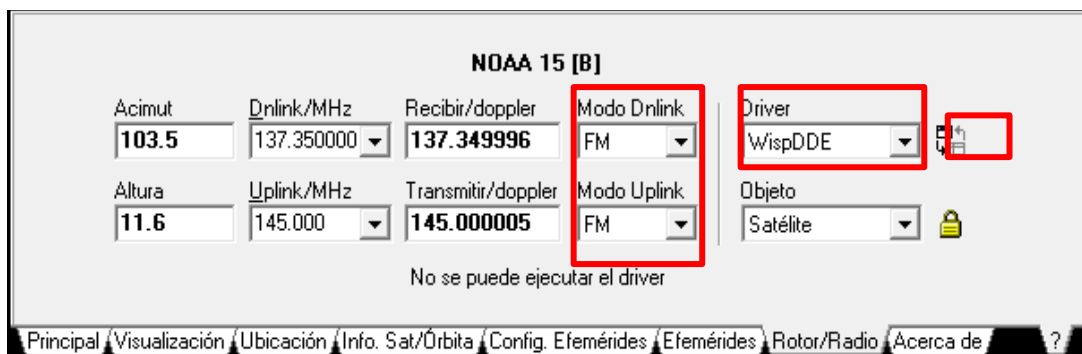


Figura 81. Configuración del Radio
Adaptado de (Stoff, 2007)

18. Driver WispDDE

Drivers

Driver is an application working as DDE Client. It receive tracking data from Orbitron and send it to rotor/radio hardware via COM/LPT/USB interfaces.

My DDE Client 1.05
 This is example of user's custom driver for Orbitron. It contain EXE file and full source code in Delphi 5. Also, specification of DDE drivers for Orbitron is included.

Spidalfa 0.97
 Driver for Spid rotor (Rot2proG).

Spidalfa 0.97 sources
 Delphi 5 sources for Spidalfa driver.

Alarm Driver 0.91
 This driver provides signal on pin 7 of choosen COM port as AOS notification.

SpidDriver (external link)
 Universal driver for Spid rotors by SQ7RO. Orbitron 3.50 or higher required.

Figura 82. Driver My DDE Client
 Adaptado de (Stoff, 2007)

19. Descargar el *driver*.

20. El archivo comprimido, copiar en: C:\Program Files (x86) \Orbitron y extraer.

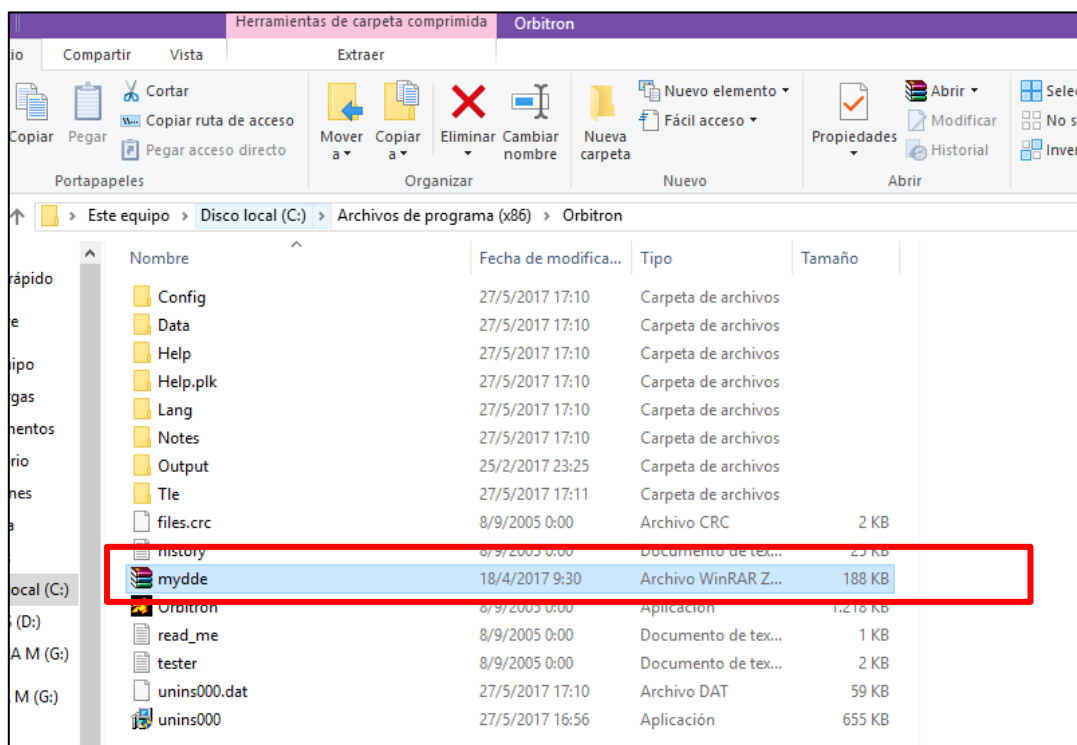


Figura 83. Archivo descargado mydde

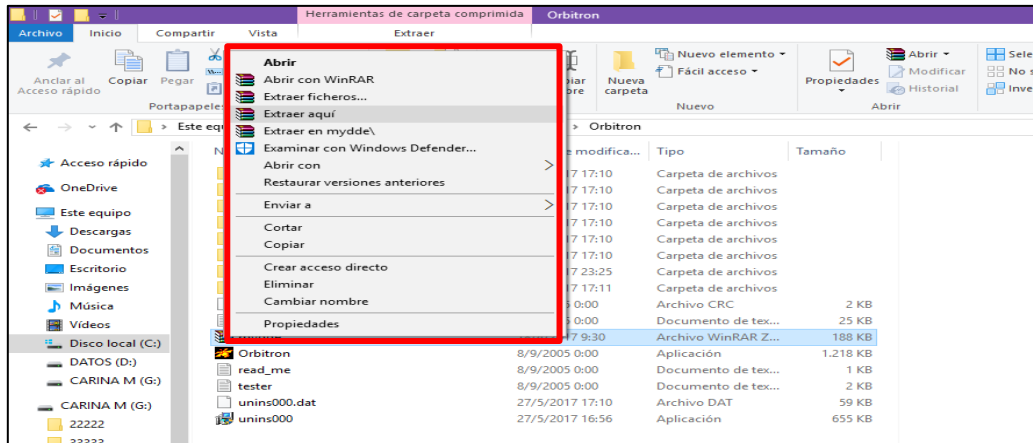


Figura 84. Proceso de extracción de archivos

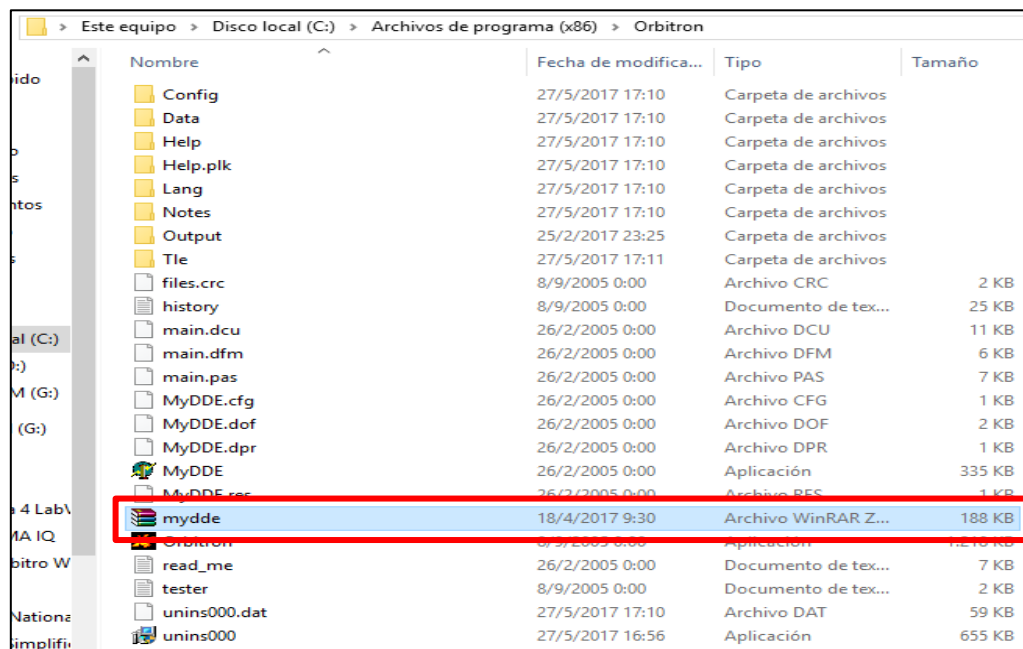


Figura 85. Visualización de archivos MyDDE

21. Ingresar a la interfaz de Orbitron y hacer clic en el icono



Figura 86. Opción del Cliente WISPDDE
Adaptado de (Stoff, 2007)

22. Se desplegará un mensaje, hacer clic en si.

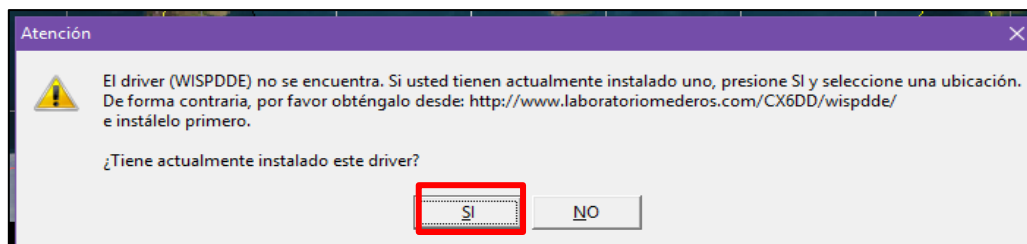


Figura 87. Mensaje de comprobación del driver
Adaptado de (Stoff, 2007)

23. Se abrirá la carpeta de Orbitron.

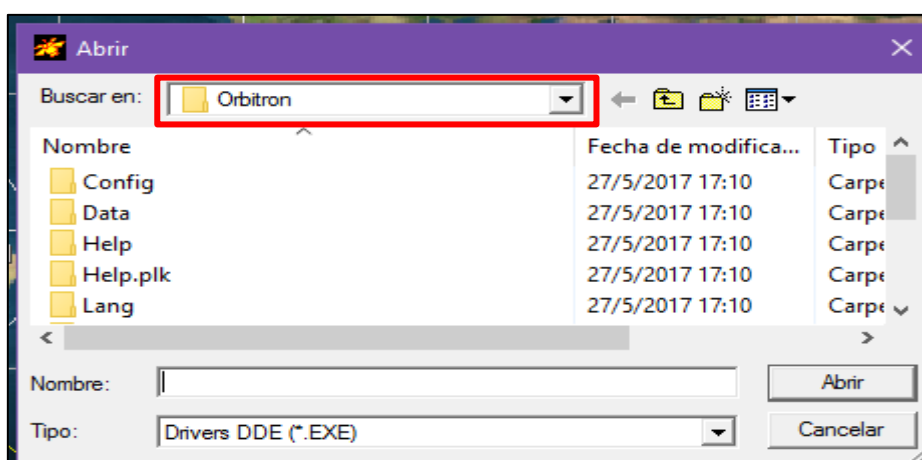


Figura 88. Dirección de Orbitron
Adaptado de (Stoff, 2007)

24. Buscar y seleccionar MyDDE.

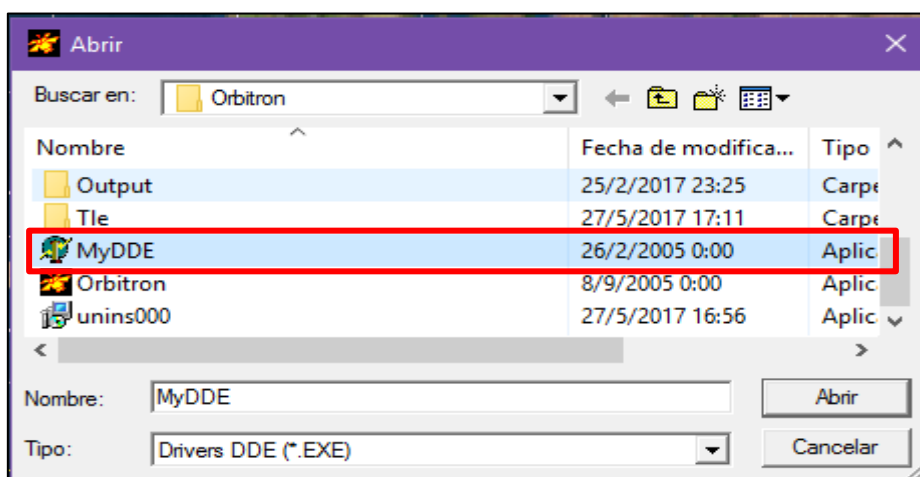


Figura 89. Path del cliente DDE
Adaptado de (Stoff, 2007)

25. En el mensaje de respuesta del cliente DDE colocar *Exit*.

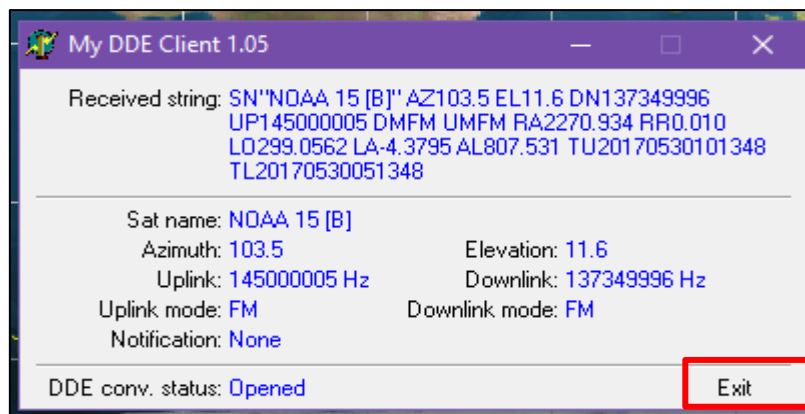


Figura 90. Mensaje de confirmación

Adaptado de (Stoff, 2007)

Finalmente se tiene la instalación y configuración de Orbitron, que nos indica la ubicación del satélite, el cual permitirá pasar a la etapa del algoritmo y con la ayuda de NI LabView se procederá con el desarrollo, pero de igual manera es importante revisar que los drivers del dispositivo USRP se encuentren instalados, caso contrario, se detalla a continuación como realizarlo:

3.1.3.3 Instalación y configuración de NI USRP 2920

1. Acceder a la siguiente dirección zone.ni.com
2. Seleccionar descargas y escribir NI USRP 2920.

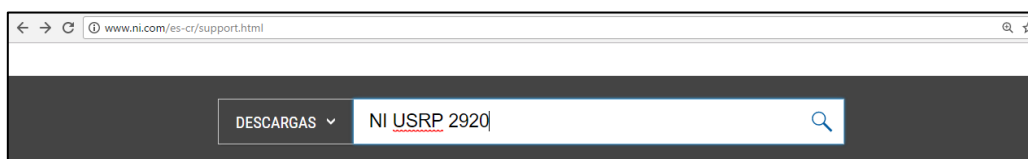


Figura 91. Opción descargas

Tomado de (Instrument N. , Soporte Técnico, s.f)

3. Se despliega la información de los drivers del NI USRP y se selecciona NI USRP 16.1



Figura 92. Enlace del driver
Tomado de (Instrument N. , Soporte Técnico, s.f)

4. Hacer clic en el enlace NIUSRP1610_downloader.exe y descargar el NI *Download Manager*.

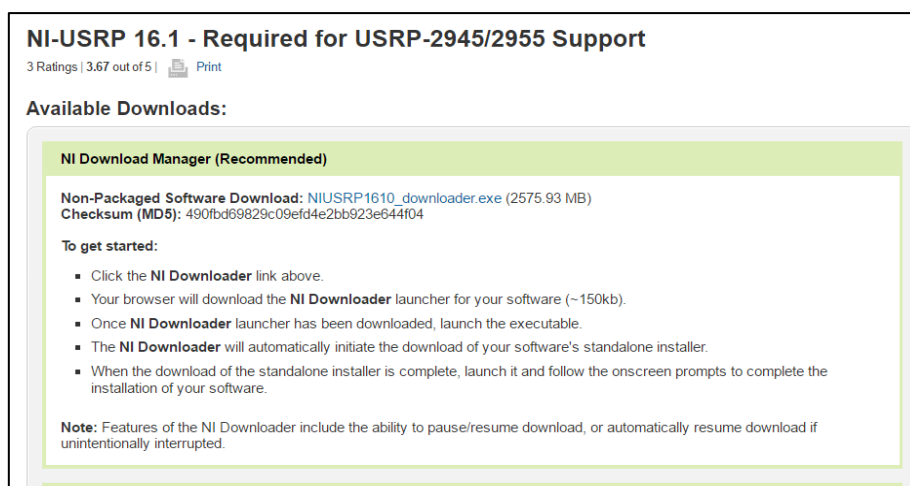


Figura 93. Área de descarga
Tomado de (Instrument N. , Soporte Técnico, s.f)

5. De forma automática se descargará, abrir la carpeta de destino, hacer clic derecho y ejecutar como administrador.

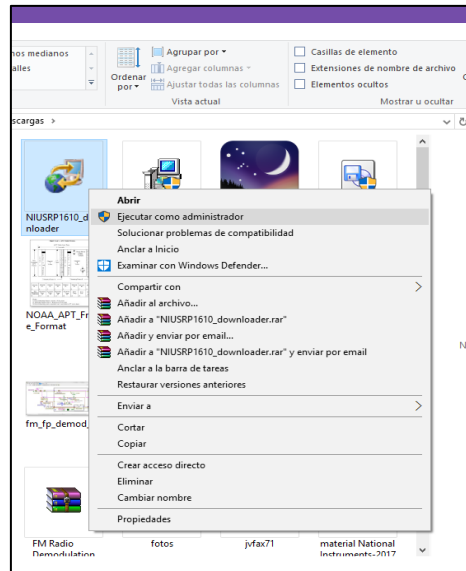


Figura 94. Path de ubicación de la carpeta de descarga
Tomado de (Instrument N. , Soporte Técnico, s.f)

6. Dar clic en ejecutar

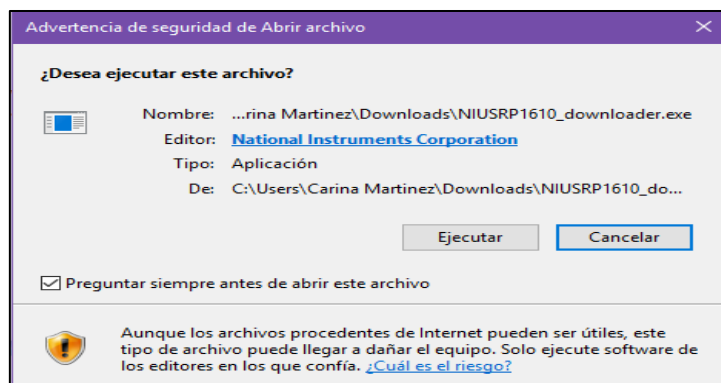


Figura 95. Ventana de Ejecución
Tomado de (Instrument N. , Soporte Técnico, s.f)

7. Empezará la descarga.

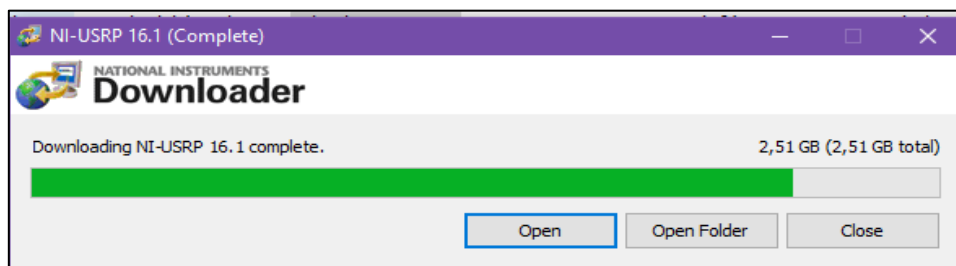


Figura 96. Barra de progreso
Tomado de (Instrument N. , Soporte Técnico, s.f)

8. Abrir la carpeta y colocar setup.exe

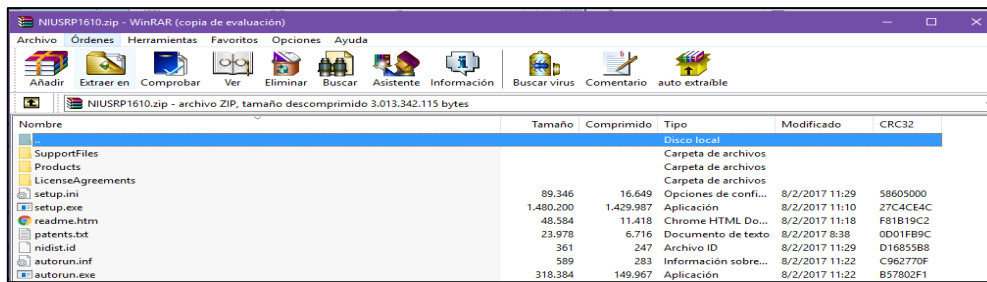
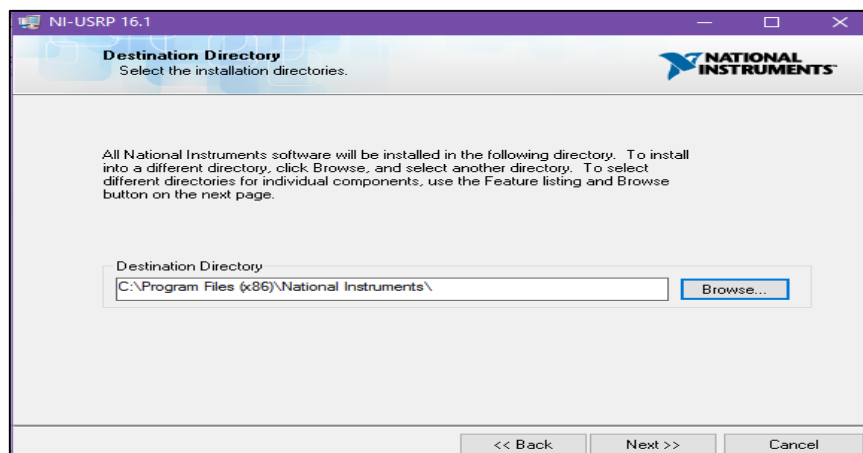
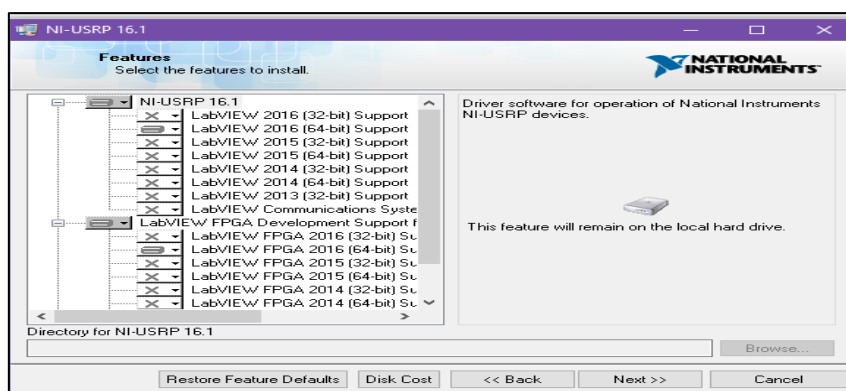


Figura 97. Archivo setup.exe

9. Se despliega la ventana para empezar a instalar y el directorio de destino.

Figura 98. Path de ubicación
Tomado de (Instrument N. , Soporte Técnico, s.f)

10. Colocar las características para la instalación en este caso se selecciona Labview 2016 Support y FPGA.

Figura 99. Ventana de características de instalación
Tomado de (Instrument N. , Soporte Técnico, s.f)

11. Siguiete

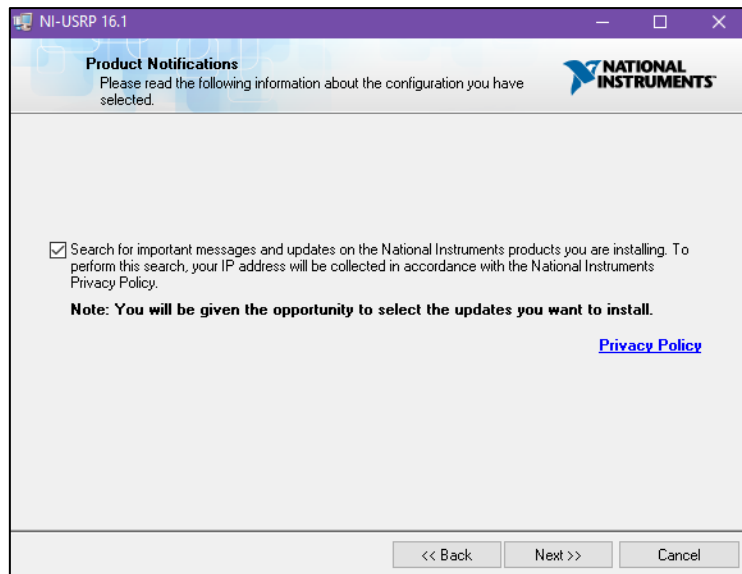


Figura 100. Mensaje de Recomendación
Tomado de (Instrument N. , Soporte Técnico, s.f)

12. Siguiete

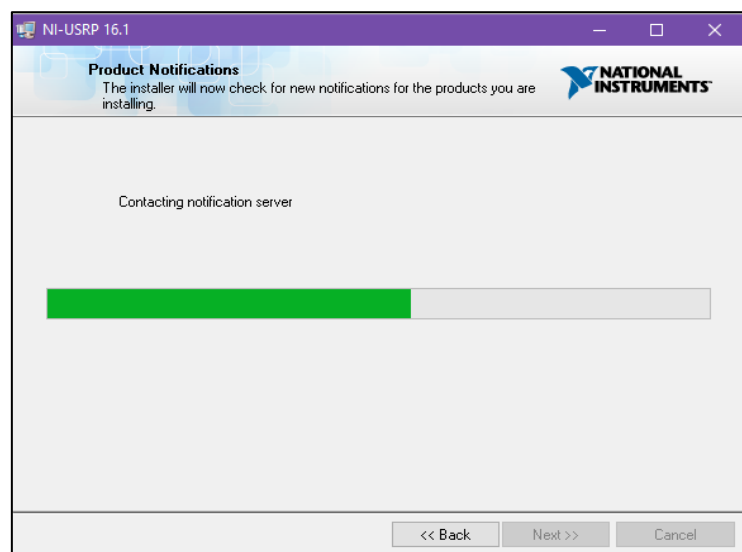


Figura 101. Barra de progreso de instalación
Tomado de (Instrument N. , Soporte Técnico, s.f)

Posteriormente al tener instalado los drivers del USRP, se procederá con la configuración del dispositivo.

Pasos para la conexión del NI USRP 2920:



Figura 102. NI USRP 2920
Tomado de (Instrument N. , Soporte Técnico, s.f)

1. Se coloca la antena, en las ranuras RX1/TX1 o RX2.
2. Conectar el cable Ethernet en el NI USRP y en el computador.
3. Se coloca el terminal de energía eléctrica de 6V en el dispositivo y en la toma corriente.
4. Dirigirse a Centro de Redes y Recursos Compartidos → Propiedades del enlace → en Elementos ir a protocolo de internet TCP/IPV4.
5. Escribir la dirección IP: 192.168.10.1 MSC: 255.255.255.0

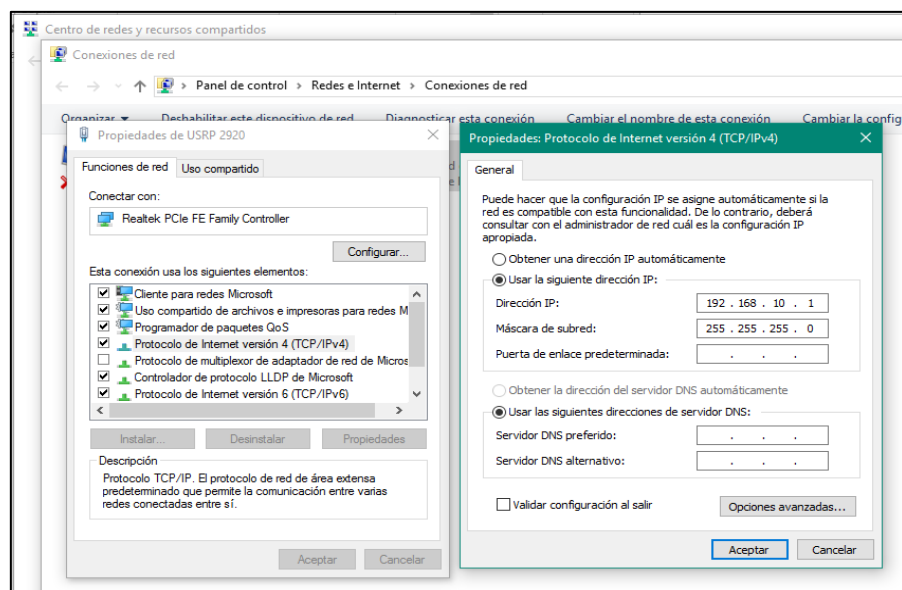


Figura 103. Propiedades de Red

6. Aceptar y salir.
7. Ir a NI USRP *Configuration Utility*, seleccionar en *Devices* la IP del USRP.

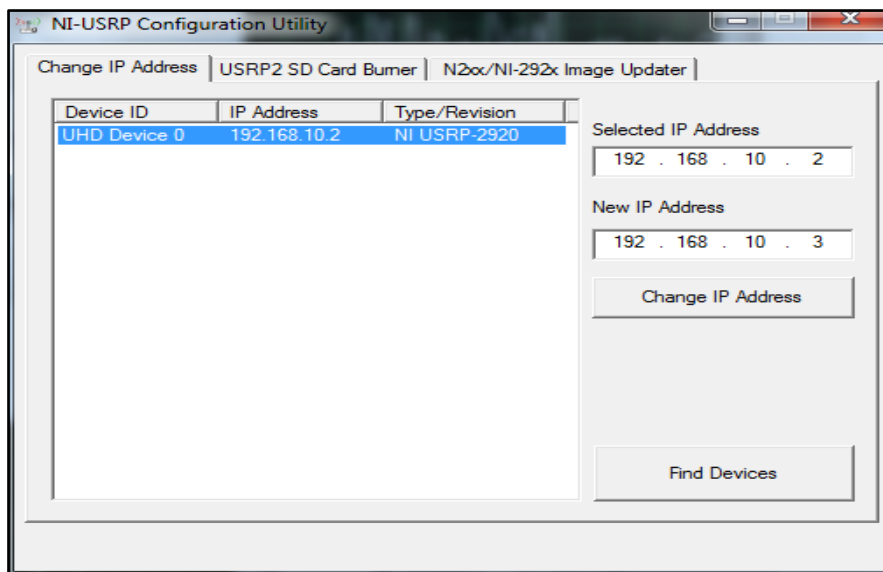


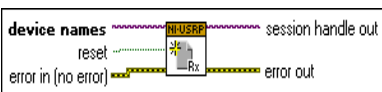
Figura 104. NI USRP Configuration Utility
Tomado de (Instrument N. , Soporte Técnico, s.f)

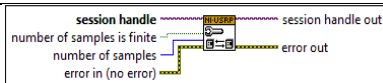
8. Ir a *Image Updapter*, seleccionar el *device IP* y si es necesario actualizar *Image Updater*, hacer clic en *Write Access*.

En la configuración del USRP con LabView se utilizan varias etapas para receiptar la señal, los elementos base que se utilizaron se describen a continuación:

Tabla 16.

Instrumentos Virtuales para recepción en NI USRP

Elementos de Recepción	
<p><u>niUSRP Open Rx Session</u></p> 	<p>Se utiliza para abrir una nueva sesión del USRP en LabView.</p> <p>device name: permite colocar la IP del dispositivo.</p> <p>reset: sirve para restablecer el dispositivo</p>
<p><u>niUSRP Configure Number of Samples VI</u></p>	<p>Permite conocer el número de muestras que va adquiriendo el</p> <p>number of samples is finite: se coloca falso ya que indica que el número</p>

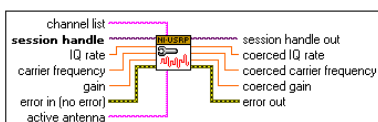


dispositivo después del inicio de sesión.

de muestras no es finito y empieza a tomar las muestras de forma continua.

niUSRP Configure Signal

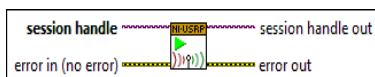
VI



Configura las propiedades de la señal Rx y devuelve los valores reales desde el dispositivo.

IQ rate especifica la banda base IQ para las muestras. **carrier frequency** indica la frecuencia portadora en Hz.

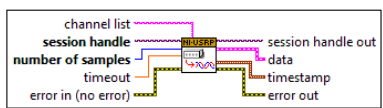
niUSRP Initiate VI



Procede a iniciar sesión para adquirir la señal.

Gain ganancia en dB. **Session handle** identifica una sesión inicial. **Session handle out** recepción específica.

niUSRP Fetch Rx Data
(CDB Cluster)



Recibe datos complejos, tipo flotantes y dobles.

error in indica los errores que se producen antes del nodo. **error out** lleva al error.

Channel list permite configurar el canal para Rx.

Timeout tiempo de espera en segundos, antes de algún error.

Data devuelve las muestras recibidas con el mismo tipo de dato del clúster.

niUSRP Abort VI

Sirve para detener la

Timestamp tiempo asociado de la primera muestra.

Session handle identifica



recepción de los datos que pasan por el canal.

una sesión inicial del VI. **Session handle out** referencia de la recepción para una próxima VI.

Error in indica los errores que se producen antes del nodo.

Error out lleva el error a la salida.

Session handle identifica una sesión inicial del VI.

Error in indica los errores que se producen antes del nodo.

Error out lleva y detalla el error al final.

niUSRP Close Session VI



Cierre de sesión

Tomado de (Instrument N. , niUSRP, 2011)

Nota: En la tabla 16 se detalla los instrumentos virtuales del NI USRP con sus elementos.

La configuración de cada VI del USRP, se programa mediante pasos ordenados para el encendido del dispositivo, activación de sesión, preparación de recepción, inicio, configuración, interrupción y cierre.

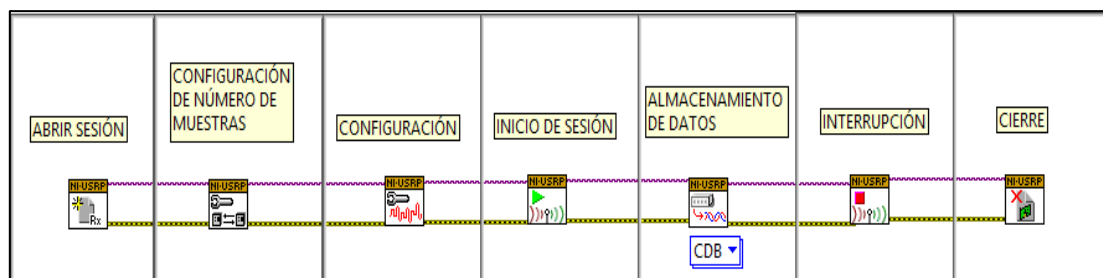


Figura 105. Etapas de configuración

En la siguiente figura se visualiza el diagrama de bloques de la interfaz en LabView, utilizando cada VI del USRP y las herramientas para el proceso de recepción, y el tratamiento de la señal.

3.2 Diagrama de Bloques

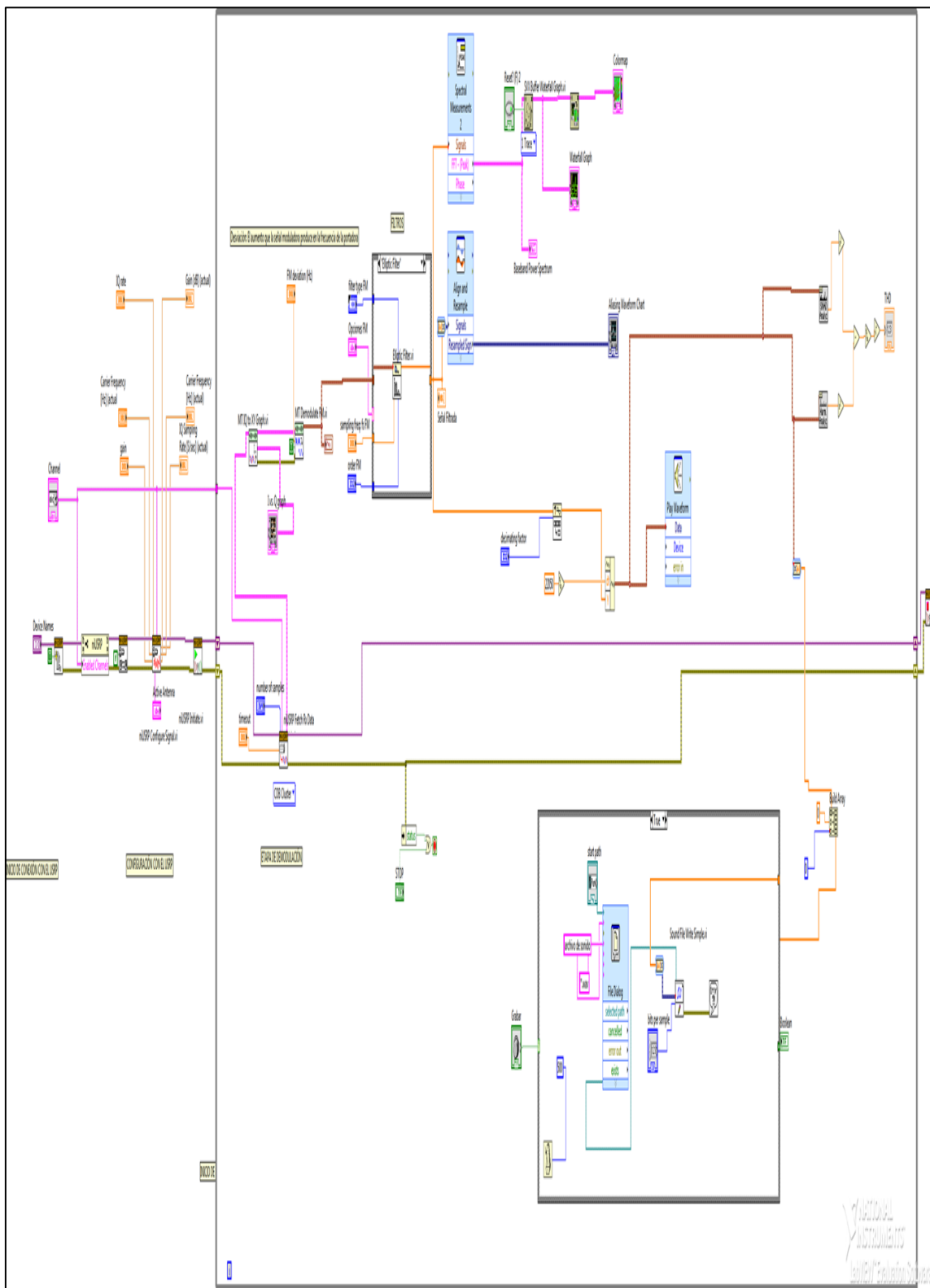


Figura 106. Diagrama de Bloques de la Interfaz en NI LabView

3.1.3.4 Configuración inicial

La primera etapa es la apertura de una nueva sesión, se procede con la configuración de la dirección IP del USRP que se conectará con el computador.

IP USRP: 192.168.10.2/24

IP PC: 192.168.10.1/2

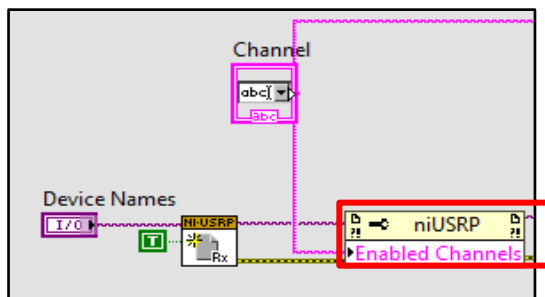


Figura 107. Nodo NI USRP

En la figura 109 se muestra el panel frontal que es equivalente a los elementos del diagrama de bloques en LabView, como se observa a: *device names* y *channel*.



Figura 108. Fase inicial

Se crea un nodo para la activación y configuración de los canales que dirige la señal a los otros elementos.

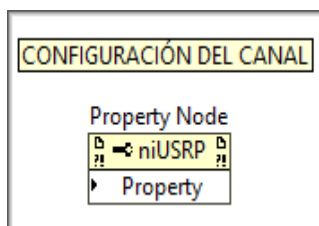


Figura 109. Nodo de USRP

El nodo derivado de las VIs del USRP se utiliza para establecer el canal.

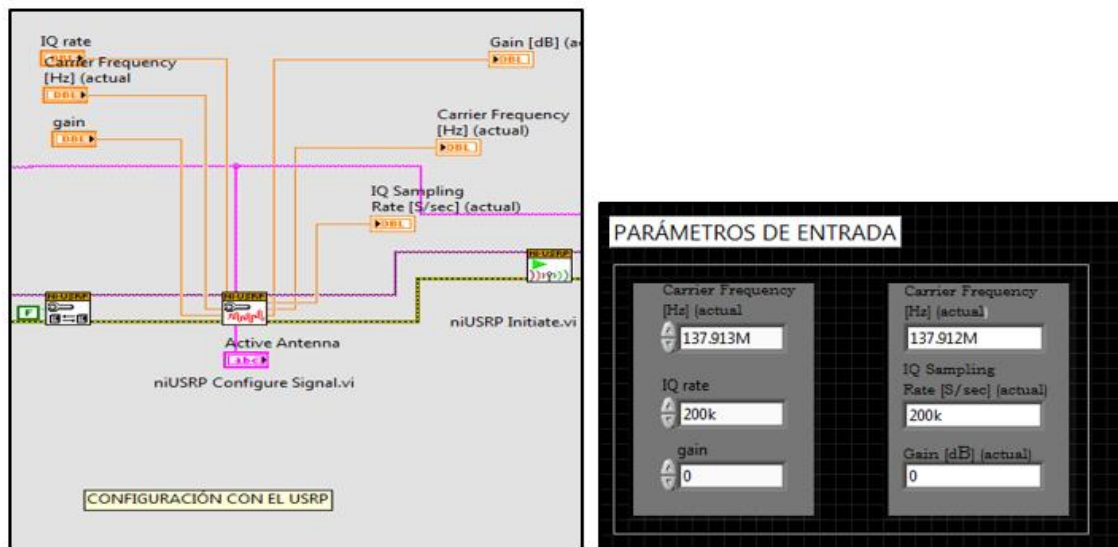


Figura 110. Configuración de entrada

En la Figura 111 el VI de configuración permite establecer los parámetros de entrada de la señal, contiene la frecuencia portadora, la ganancia, la velocidad de muestreo, que es equivalente al ancho de banda y la activación de la antenna donde se asigna a RX1 o RX2 dependiendo de la ubicación de la antenna en el USRP.

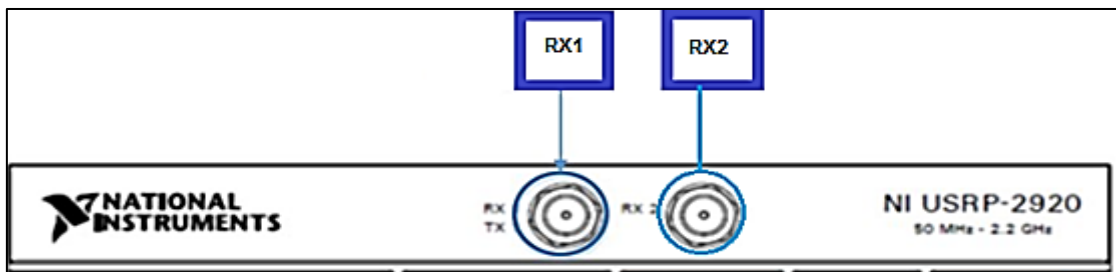


Figura 111. Opciones para conectar la Antena

Se inicia sesión, luego pasa a la fase de configuración para los datos recibidos.

Se empieza estableciendo los parámetros del *Fetch Rx Data*, es decir el *timeout* y el *numer of samples*, que proporcionan datos de tiempo de espera ante cualquier error y el número de muestras.

En la demodulación de RF en FM, primero se extrae los componentes IQ, esto implica que la señal recibida va a tener características como:

1. Las señales están desfasadas 90°

$$I = \text{in phase} \quad I \cos(2\pi ft)$$

(Ecuación 28)

$$Q = \text{cuaadrature} \quad Q \sin(2\pi ft)$$

(Ecuación 29)

2. Las dos señales se pueden sumar a través del tiempo y varían sus parámetros como la amplitud, frecuencia y fase.

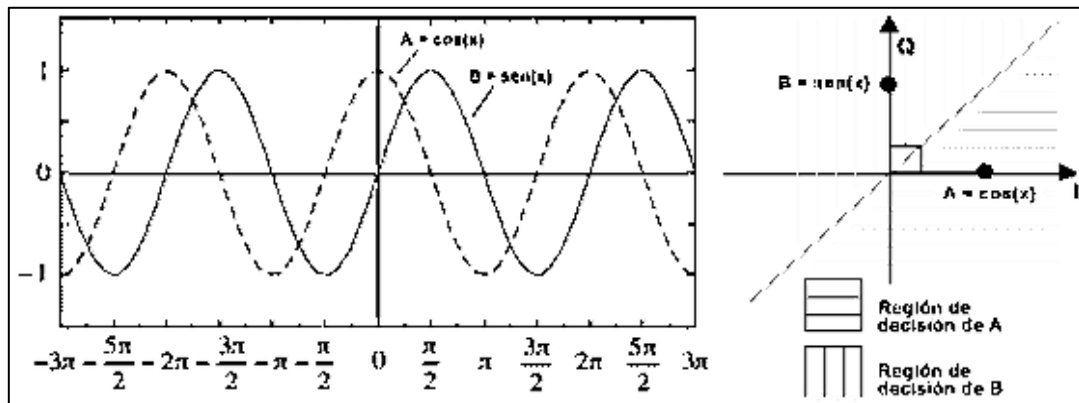


Figura 112. Señal IQ

Tomado de (MARTINEZ, 2017)

En el proceso de demodulación, ingresa la señal de información IQ para ser demodulada en el dominio del tiempo, al pasar de forma continua se pueden reconocer algunos patrones.

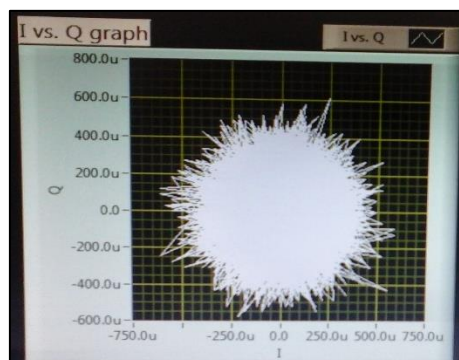


Figura 113. Gráfica I-Q

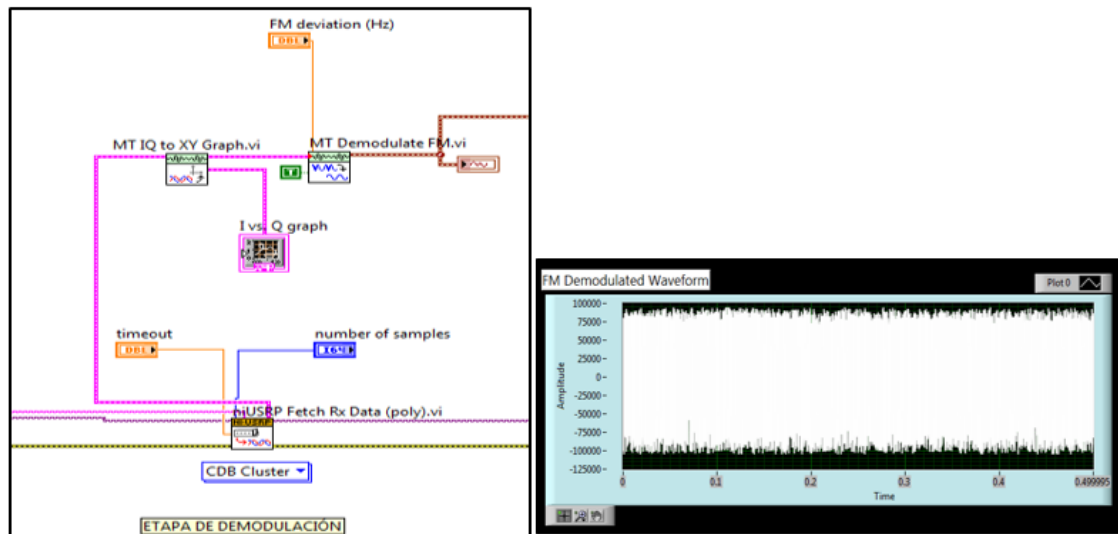


Figura 114. Etapa de demodulación

Se inicializa en true para que inicie en cero.

Se controla la FM desviación ya que, la señal pasa a ser modulada en FM y los cambios en la frecuencia portadora van dependiendo de la modulación.

Para recibir emisiones VHF FM puede ser de aproximadamente 1 MHz mientras que la señal sólo es 200 kHz de ancho (Radio-Electronics.com, s.f.).

La señal pasa por un filtro LC, un multiplicador y en la salida se convierte en un detector de fase.

Las etapas de filtro se aplican para disminuir el ruido, utilizando un combo box para seleccionar los tipos de filtros como se pueden observar a continuación, se emplea el Elíptico, Bessel, Chebyshev y Butterworth.

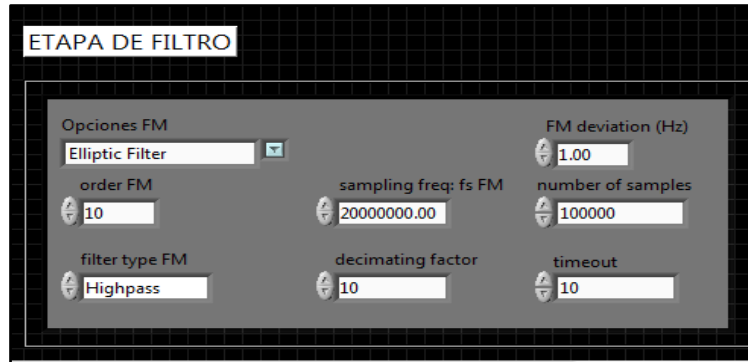


Figura 115. Parámetros del Panel Frontal en la Etapa de Filtro

Nota: En la Figura 115 el tipo de filtro seleccionado es el Elíptico, pasa alto de orden 10 y con una frecuencia de corte de 20Mhz.

Etapa de filtrado

El filtrado es una herramienta que proporciona mecanismos para eliminar las señales no deseadas y el ruido, en LabView se puede programar diferentes topologías según su función, estos pueden ser: paso bajo, paso alto, paso banda y banda de parada.

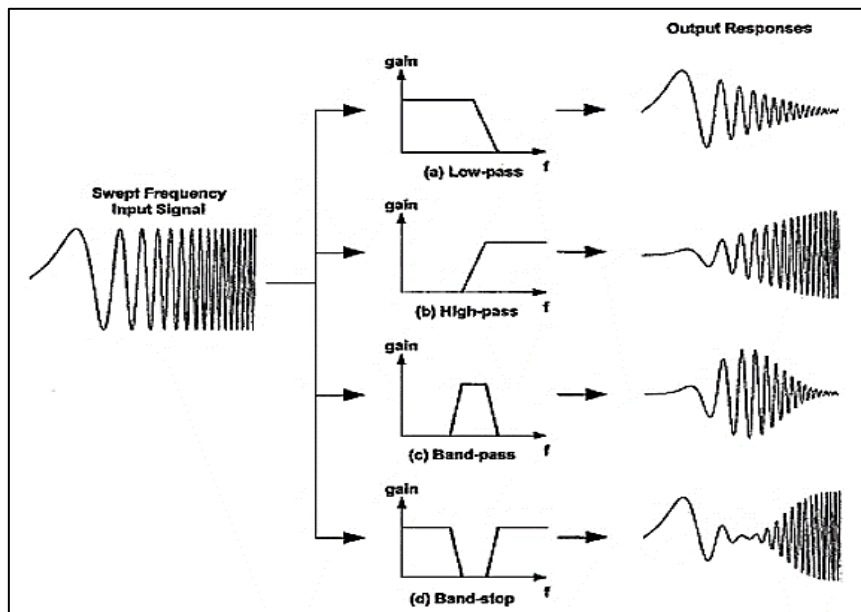


Figura 116. Filtros por Respuesta de Oscilación
Tomado de (Moreno, 2017)

Como se describe en la figura 117, cada tipo de filtro de la señal original, según su respuesta, puede tomar diferentes apariencias.

Filtro Pasa Bajo

La señal pasar por el filtro paso bajo, donde los componentes que superan la frecuencia de corte son rechazados teniendo como resultado una muestra decreciente.

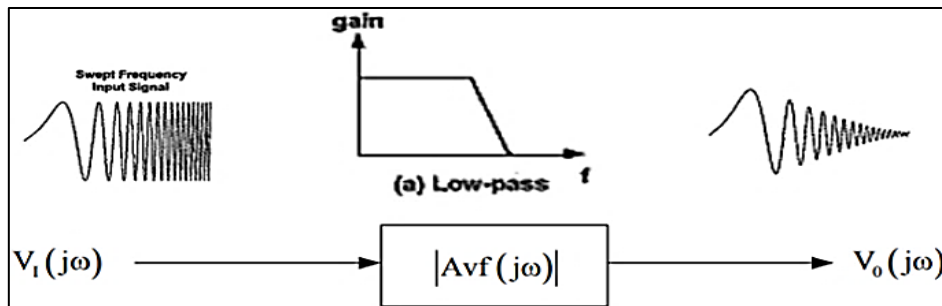


Figura 117. Proceso de Filtro Paso Bajo
Tomado de (Moreno, 2017)

Filtro Paso Alto

Permite el paso de las frecuencias de entrada que son superiores a la frecuencia de corte, obteniendo como resultado creciente.

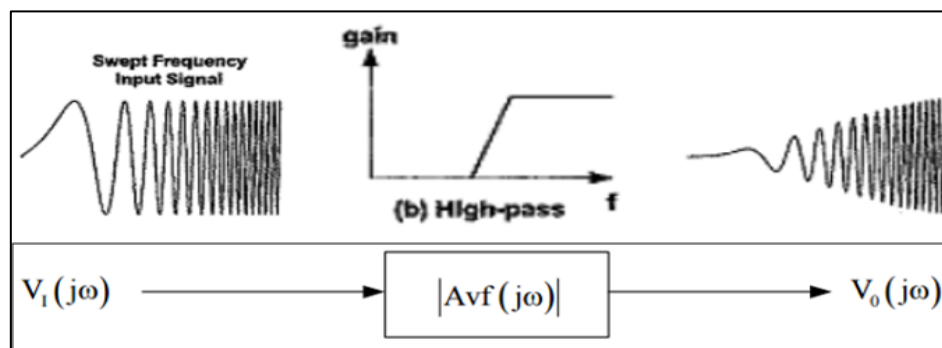


Figura 118. Proceso de Filtro Paso Alto
Tomado de (Moreno, 2017)

Filtro Paso Banda

La señal de entrada pasa por el filtro que da paso a las frecuencias de inferior de corte y superior de corte, rechazando el resto.

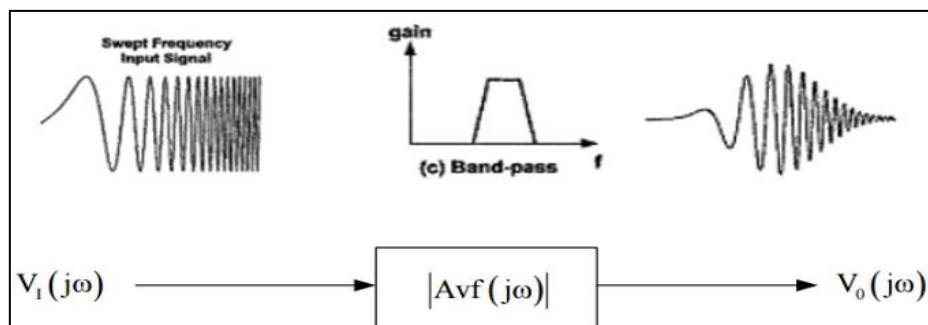


Figura 119. Proceso de Filtro Paso Banda
Tomado de (Moreno, 2017)

Filtro Rechaza Banda

El filtro rechaza banda bloquea las frecuencias de corte superior e inferior, dejando al resto pasar.

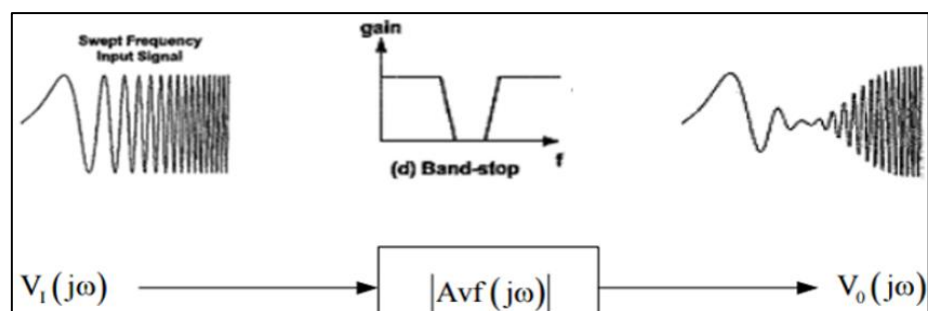


Figura 120. Proceso de Filtro Rechaza Banda
Tomado de (Moreno, 2017)

Topologías de Filtros

Filtro Butterworth

El filtro es conocido por que es plano en el origen, esto significa que tiene el número máximo de derivadas nulas en la frecuencia de corte ω_0 . Cuando la frecuencia se incrementa, la amplitud decrece hacia cero de forma logarítmica y su desplazamiento es mínimo.

Si la respuesta en frecuencia es 0, entonces la amplitud es monótonamente plana. Además, el desplazamiento en fase es mínimo, considerado un filtro poco estable y utilizado más para filtros paso bajo y paso banda, como se visualiza en la figura 121.

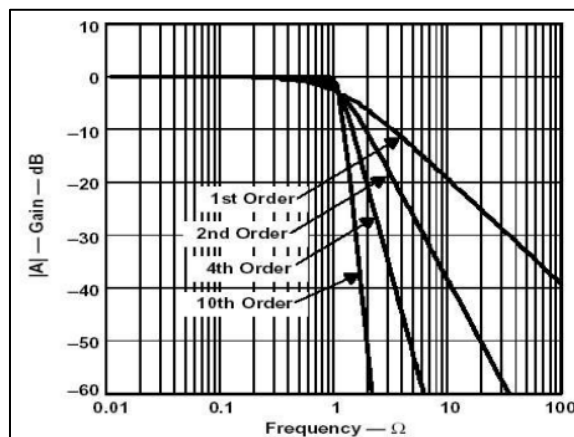


Figura 121. Filtro paso bajo Butterworth

Tomado de (Cabrera Peña, 2017)

$$\overline{B(\omega)}B(\omega) = \frac{1}{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^{2n}}$$

(Ecuación 30)

En LabView se puede observar el resultado obtenido con el filtro Butterworth al configurar el tipo de filtro y su aproximación.

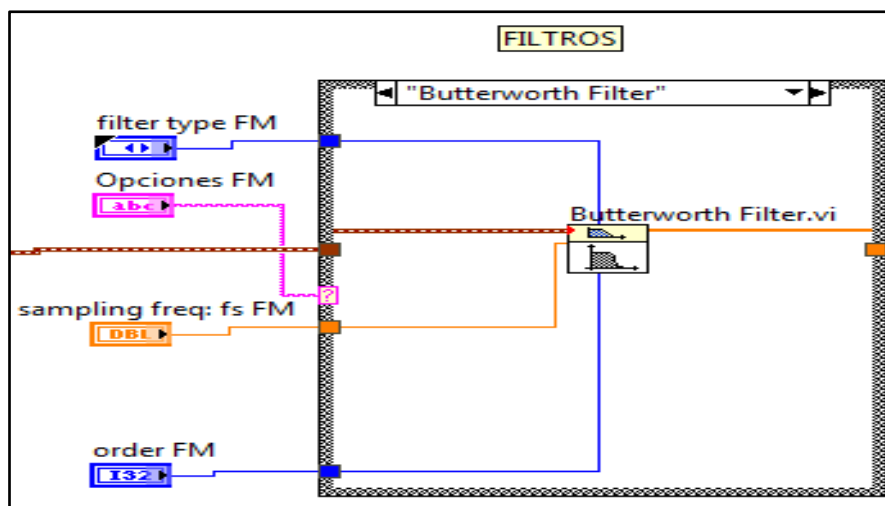


Figura 122. Filtro Butterworth

Filtro Chebyshev

Es polinomial, donde la amplitud A_{min} pasa a ser máximo y viceversa, la pendiente es más empinada y muestra curvas de atenuación, para un cierto

número de orden n , dando como resultado un rizado uniforme con banda de transición estrecha, además es mono-tónico en paso banda o rechaza banda.

Se aplica en frecuencias, donde su contenido es superior al de la magnitud de la amplitud.

$$|H(\omega)|^2 = \left(1 + \varepsilon^2 T_N^2 \left(\frac{\omega}{\omega_p} \right) \right)^{-1}$$

$$T_N = \begin{cases} \cos(N \cos^{-1}(x)) & |x| \leq 1 \\ \cosh(N \cosh^{-1}(x)) & |x| \geq 1 \end{cases}$$

(Ecuación 31)

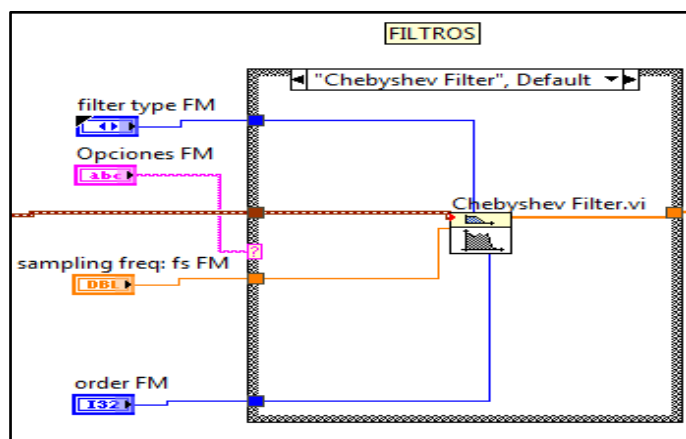


Figura 123. Filtro Chebyshev

La aproximación del filtro Chebyshev, toma como referencia al filtro paso bajo para presentar el tipo de funcionamiento. A continuación, se muestra la variación del orden del filtro.

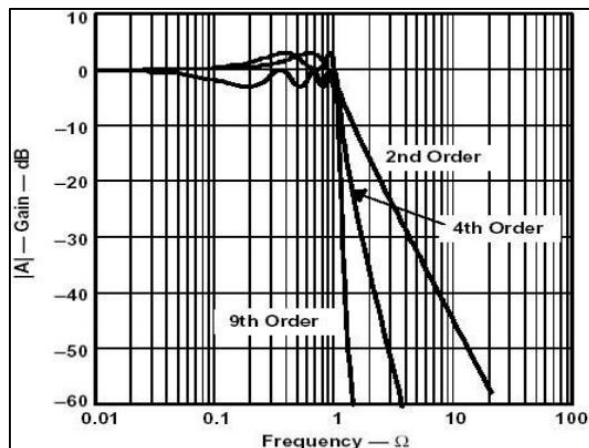


Figura 124. Orden del Filtro paso bajo Chebyscheff
Tomado de (Dovale, 2009)

Filtro Elíptico

Similar al filtro Chebyshev tiene un rizado superior en pasa banda y rechaza banda. Es la aproximación más rápida que crece en la banda de transición de $A_{máx}$ y $A_{mín}$, aplicado en casos donde se requiere una pendiente abrupta o muy empinada, como consecuencia tiene la oscilación en la parte superior pasa banda y tiene un pico en el retardo en las frecuencias de paso.

$$|H(j\omega)| = 10^{-\frac{R_p}{20}} \omega = 1$$

(Ecuación 32)

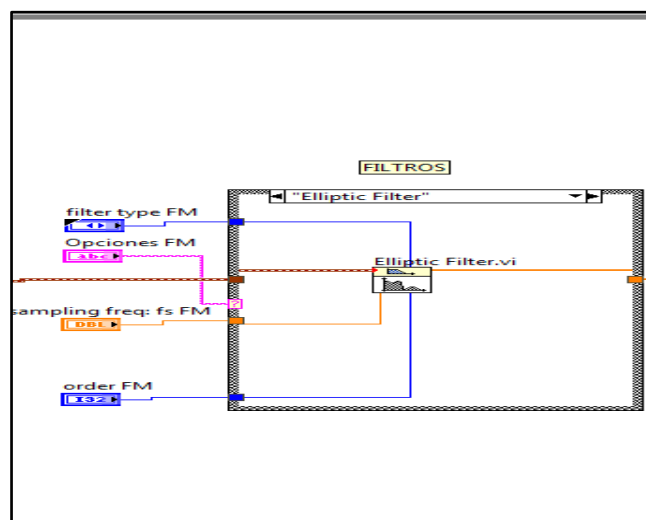


Figura 125. Filtro Elíptico

Filtro Bessel

Tipo de filtro lineal monotónico, es decir no rizado, toma valores de forma decreciente y con menor cambio de fase teniendo un cambio de retardo máximamente en la banda de paso.

Es utilizado cuando la banda de corte no es muy fuerte.

$$B(j\omega) = \frac{1}{\sqrt{\omega^2 + 1}}$$

(Ecuación 33)

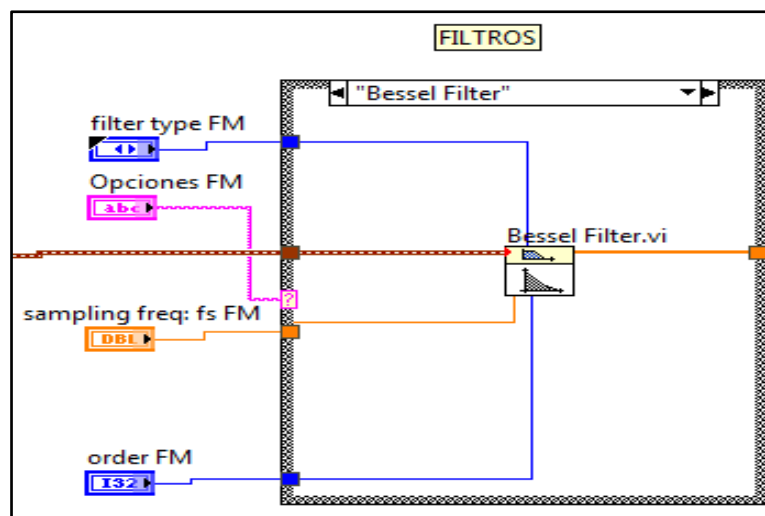


Figura 126. Filtro Bessel

Como se observa en cada filtro los parámetros que coinciden son: el tipo de filtro FM, ubicándose a paso bajo, paso alto, paso banda y rechaza banda.

En el combo box las Opciones FM, son las aproximaciones de los filtros, como: Butterworth, Chebyshev, Elíptico y Bessel.

Además, se puede determinar el número de orden o grado del filtro y la frecuencia de muestreo fs., como se puede visualizar en la figura 126.

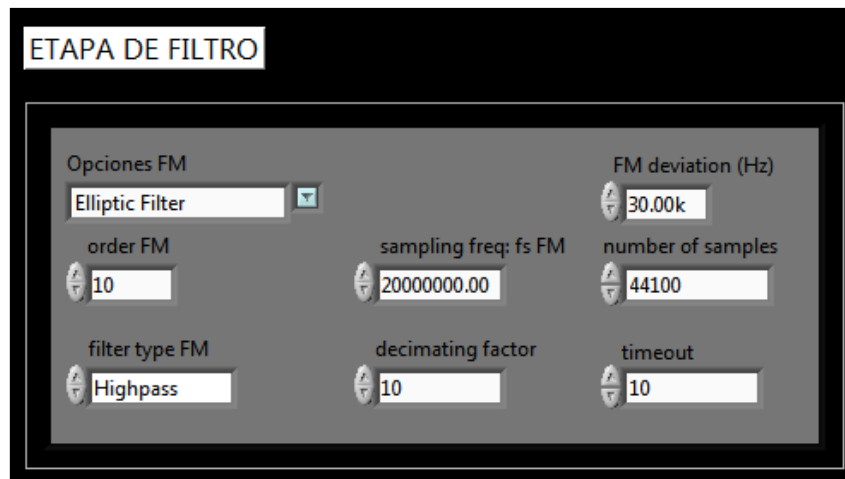


Figura 127. Parte Frontal de la interfaz en LabView

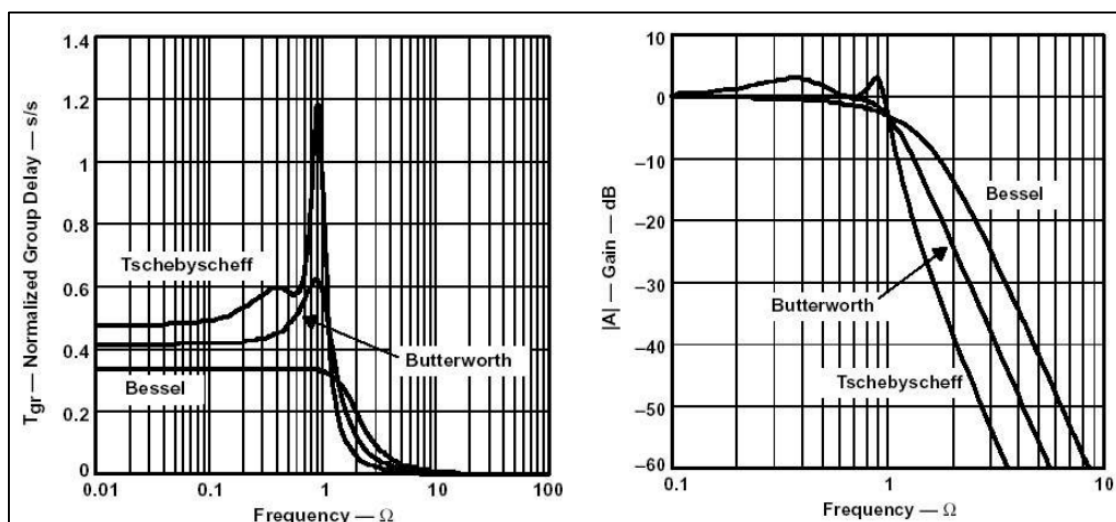


Figura 128. Retardos y ganancias normalizados
Tomado de (Dovale, 2009)

En la figura 128, se puede observar las diferencias que existen en respuesta de oscilación para las aproximaciones de los filtros Bessel, Butterworth y Chebyshev.

Teniendo en cuenta que la parte izquierda, se observa los picos y rizados que existen en cada uno, donde el filtro Chebyshev, tiene una pendiente abrupta y pico muy pronunciado, en Bessel, en cambio no tiene picos, la señal de la ganancia no se encuentra tan definida y Butterworth, tiene ambos resultados intermedios.

Etapa de Visualización

Existen varias herramientas para visualizar el resultado de la señal después de haber demodulado y filtrado.

En este caso se encuentra el *colormap* y el *waterfall graph*, estos elementos permiten visualizar la señal por su intensidad y por los componentes que se ubican en forma tridimensional.

El *colormap* detalla la intensidad de la señal de análisis transitorio con varios colores tipo arcoíris, como se muestra en la figura 129.

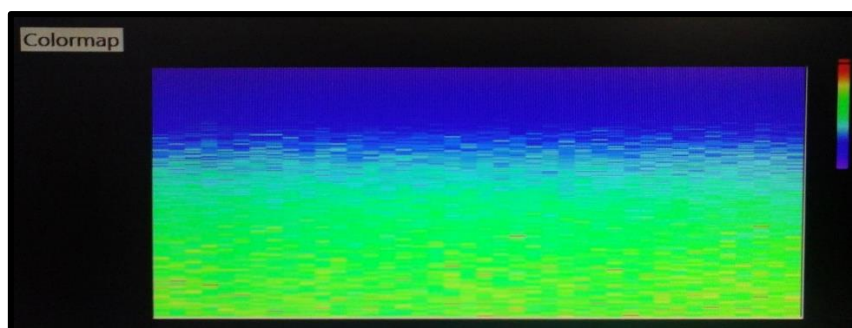


Figura 129. Colormap

Representa los mapas espectrales con la intensidad del gráfico, utilizando diferentes colores de tono arco iris, para representar la distribución de potencia de la señal.

Se puede seleccionar cualquiera de los ocho tipos de gráficos para ver información diferente relacionada con el tiempo, la velocidad, la frecuencia y el orden.

Waterfall Graph

Un gráfico en cascada para observar los cambios de frecuencia o espectro de orden frente al tiempo.

El *waterfall graph* consiste en una serie de espectros adquiridos a veces consecutivas. La frecuencia displays del eje “x” o “y”.

El eje y muestra la amplitud o potencia. El eje z muestra el tiempo. El siguiente panel frontal muestra un ejemplo de un gráfico de cascada para una prueba.

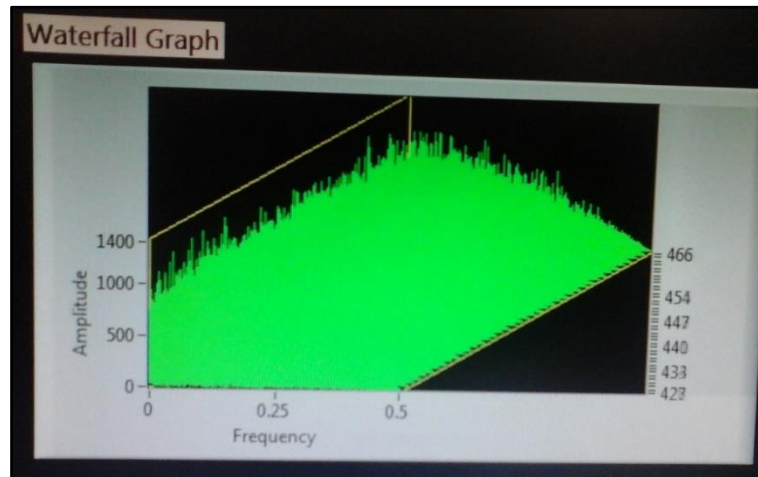


Figura 130. Waterfall graph

Es una representación en cascada en 3D, tomando los parámetros de amplitud, fase y tiempo, también se muestran los picos de cada estación de frecuencias o señal de análisis transitorio en un plano tridimensional.

También permite revisar los espectros en función del tiempo, frecuencia y amplitud. Donde cada señal es asíncrona y pasa por la transformada rápida de Fourier FFT.

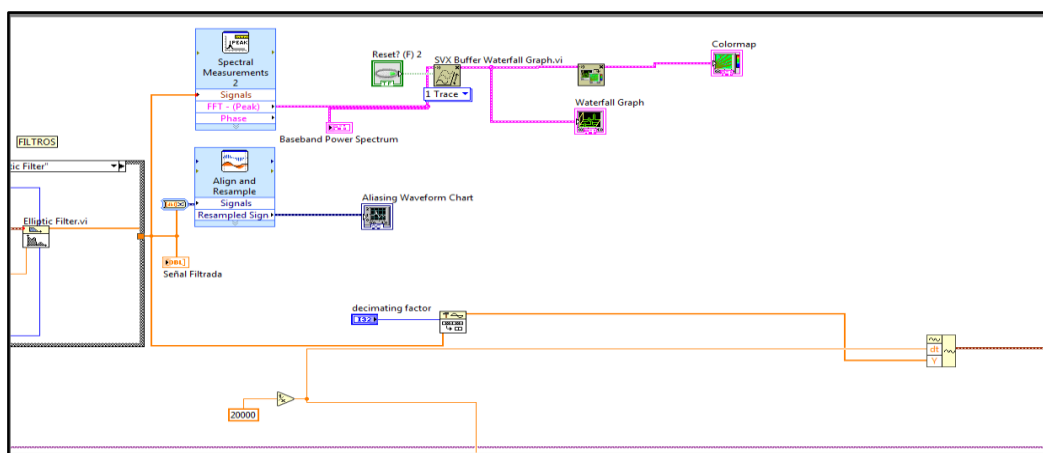


Figura 131. Etapa de Visualización

También hay que notar que las señales de información pasan por una prueba de alineamiento y re-muestreo, donde se ajusta el tiempo y readquisición de muestras.

Spectral Measurements Express VI, realiza mediante la FFT (*Fast Fourier Transform*) el espectro de la señal utilizando la medición de la magnitud en pico y fase.

Después de haber visto las formas de las señales que se pueden obtener a través de los Vis de *Colormap* y *Waterfall graph*, también se encuentra la etapa para escuchar el paso de los satélites, que se describen en la siguiente etapa:

Etapa de Sonido

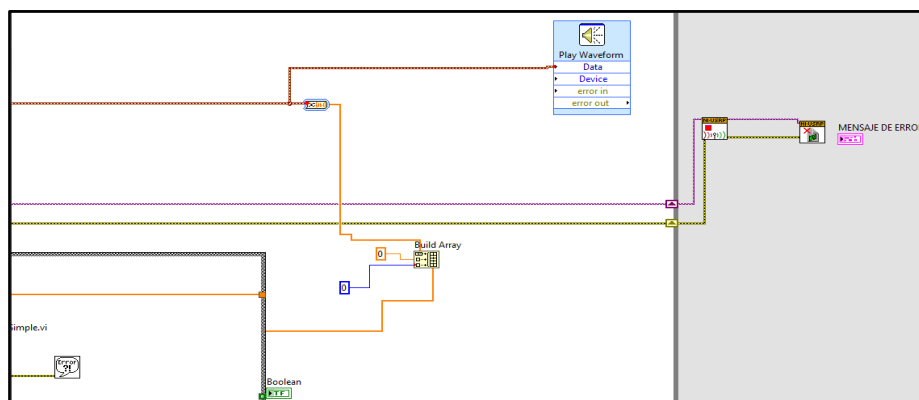


Figura 132. *Play Waveform*

Es un dispositivo de salida el cual reproduce la información luego de haber pasado por todas las etapas, en el *Play Waveform Express*, se debe colocar la señal recibida en la opción *Data* y finalmente emite los datos adquiridos dependiendo de la frecuencia portadora.

En la parte de Opciones de cuadro de diálogo está compuesta de parámetros como dispositivo, canal, frecuencia mínima y máxima.

Para el dispositivo se debe tener claro, que el dispositivo configurado es el que se encuentra conectado al computador, por lo tanto, se trabaja con la tarjeta de sonido que proporcionará la emisión de la información de la señal.

Los datos por defecto en opciones del cuadro del diálogo son:

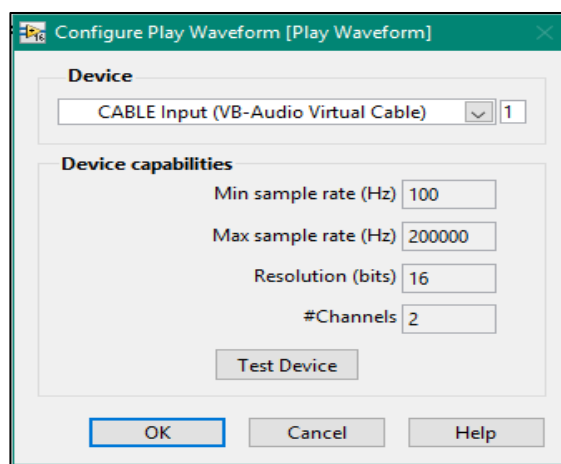


Figura 133. Configuración *Play Waveform*

Antes de reproducir, se debe revisar que las opciones de la tarjeta de sonido estén activas ya sea para emitir el sonido desde un parlante o un cable de audio, la forma de verificar es dirigiéndose a Sonido, dispositivos de reproducción o grabación, en las pestañas de grabar y reproducción debe estar predeterminado de la siguiente manera:

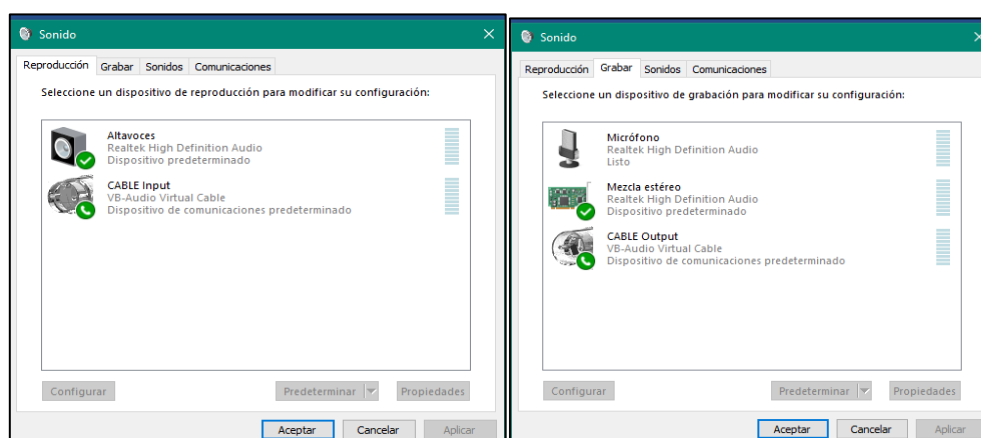


Figura 134. Configuración de los dispositivos de sonido

Luego de realizar las pruebas de sonido, se puede proceder con la ejecución de la interfaz.

Panel Frontal

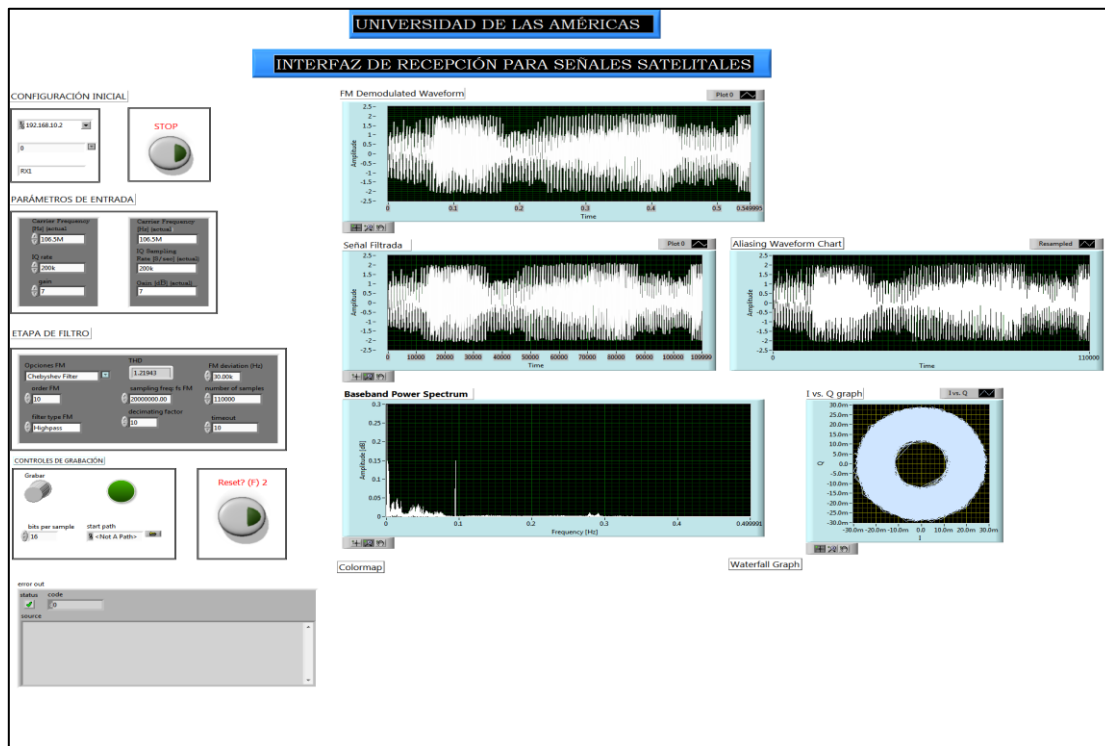


Figura 135. Panel Frontal

En el panel frontal se puede visualizar la interfaz con los parámetros y variables necesarias, luego de tener todo establecido se procede con la ejecución teniendo como resultado las señales en cada gráfica las cuales representan como se transforma en cada etapa hasta llegar a la reproducción del sonido del satélite que recoge al pasar por el punto de coordenadas de Quito.

Luego del desarrollo del algoritmo se inicia con varias pruebas que den garantía de funcionamiento entre equipos, comunicación, recepción y transmisión.

4. Capítulo IV Pruebas

En este capítulo se presentan las pruebas iniciales y finales con el objetivo de mejorar el algoritmo, ya que garantiza la calidad y funcionalidad para las personas que desean interactuar con la interfaz.

Las pruebas son procedimientos que permiten verificar la satisfacción de los requisitos, en base a la planificación.

En las pruebas de validación, se encuentra la planificación de las pruebas, donde se necesita conocer los materiales que se utilizaron y la guía de pruebas para describir los diferentes escenarios, número de muestras y el lugar del desarrollo.

La planificación de pruebas es importante para establecer en qué condiciones se realizaron los ensayos y que se puede esperar en los resultados.

En la figura 136 se visualiza el procedimiento de las pruebas de validación permitiendo describir mediante un diagrama de bloques los pasos necesarios para la ejecución.

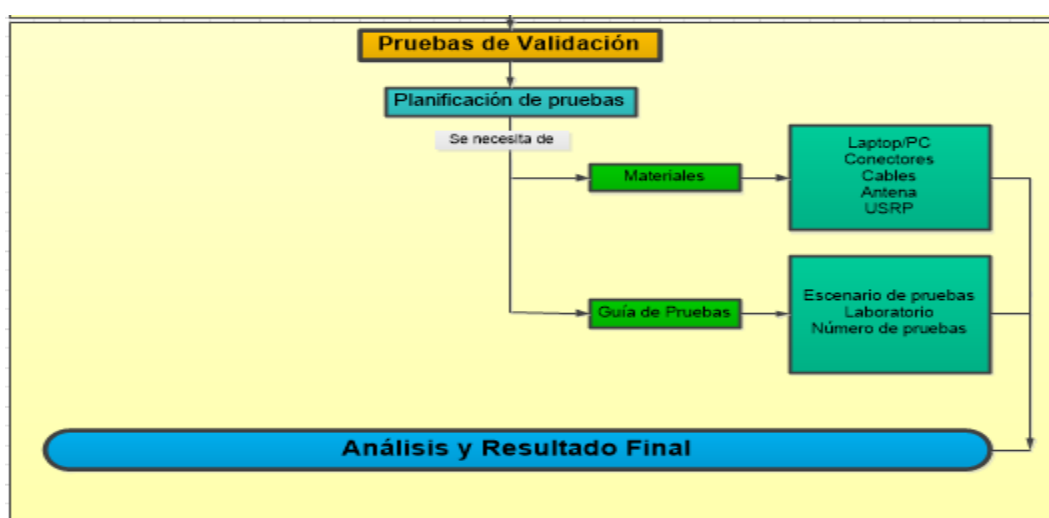


Figura 136. Pruebas de Validación

4.1 Planificación de Pruebas

4.1.1 Materiales

Los materiales utilizados para las pruebas de conectividad y ejecución son los siguientes:

1 antena 2.4 GHz y 7 dBi

2 computadoras

1 conector de red establecer una red entre el USRP y PC.

1 cable de poder de 6v, para el USRP.

1 dispositivo NI USRP 2920

4.1.2 Guía de Pruebas

Se encuentra el escenario de pruebas, el laboratorio donde se realizó y el número de pruebas que se ejecutaron:

4.1.2.1 Escenario de pruebas


En el escenario de pruebas se realizó lo siguiente:

Orbitron

1. Actualizar los TLE de los satélites NOAA.
2. Calcular el tiempo que transcurre para el paso del primer satélite.
3. Verificar el driver WisP DDE *Client*.
4. Seleccionar el satélite para verificar en tiempo real su llegada.

LabView

1. Establecer una red entre el PC y USRP.
2. Colocar los parámetros de inicio: nombre del dispositivo, número del canal, y activación de la antena.
3. Configurar los datos iniciales:
 - *IQ Sampling rate*
 - *Carrier Frecuency*
 - *Gain*

- *Samples/Frame*
4. Configurar los datos de la etapa de filtros:
 - Opciones FM
 - Orden FM
 - Tipo de filtro
 - *Sampling Frequency*
 - *Decimating factor*
 - *FM desviation*
 - *Number of sample*
 - *Timeout*
 5. Ejecutar la interfaz 

En el laboratorio de la Universidad de las Américas, el entorno de las pruebas está compuesto por la antena, el cual se conectó al USRP y mediante una red el dispositivo se conectó al computador. En el computador se puede observar dos interfaces, Orbitron como la interfaz que permite la predicción del satélite hacia el punto de coordenadas de la Universidad y la interfaz programada en LabView, donde se maneja las señales recibidas del satélite NOAA.

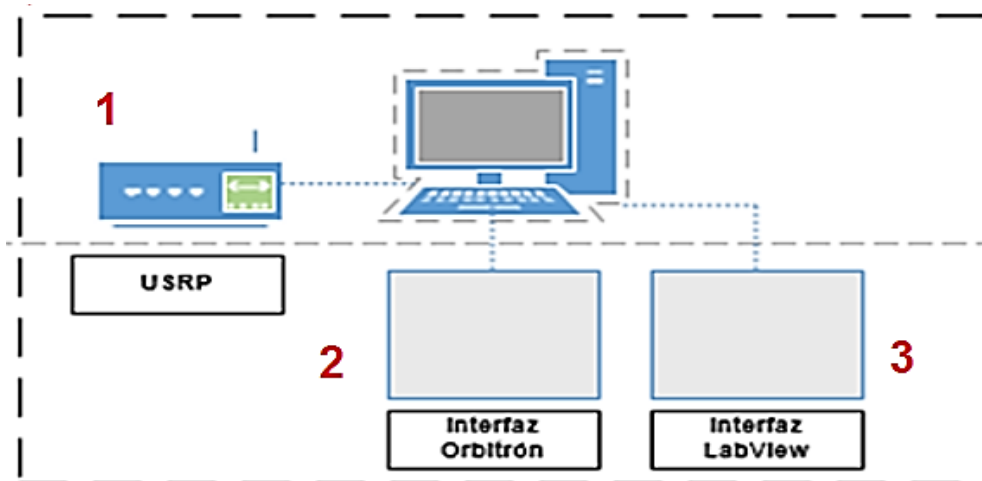


Figura 137. Elementos de Conexión

4.1.2.2 Laboratorio

El laboratorio de Telecomunicaciones de la Universidad de las Américas en la Sede Campus Queri fue el lugar para trabajar con la recepción de las señales satelitales.

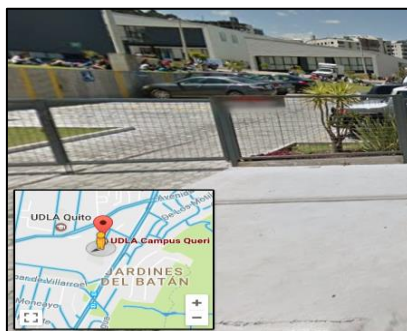


Figura 138. UdlA Campus Queri
Adaptado de (Google Maps, s.f)

4.1.2.3 Número de pruebas

La rigurosidad con la ejecución de un determinado número de pruebas viene dada por la calidad de trabajo que se ofrece. Las pruebas de la investigación implican las observaciones que se van a realizar, con el total de muestras que van a ser tomadas y el número de repeticiones para que la información sea válida.

Para el tamaño de muestras se definen dos situaciones para no caer en momentos inestables, como pérdida de tiempo y pérdida de recursos. Otra situación que se puede reconocer es la falta de datos, produciendo imprecisión en los resultados.

Es importante que estos aspectos estén claros para analizar cuantas pruebas serían suficientes para cumplir con las expectativas.

El número de observaciones o repeticiones involucradas en la obtención de una media de datos es inversamente proporcional al valor de su desviación estándar (error estándar), como puede deducirse de la ecuación:

$$SE = \frac{\sigma}{\bar{n}}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} SE: \text{error estándar} \\ \sigma: \text{desviación estándar} \\ \bar{n}: \text{tamaño de la muestra} \end{array} \right.$$

(Ecuación 34)

Análisis

A mayor número de veces, los datos se desperdician en menor cantidad, y la desviación estándar σ disminuye.

$$d = Z_{\alpha} * SE$$

Dónde:

$$\left\{ \begin{array}{l} d : \text{error de muestreo o precisión} \\ Z_{\alpha}: \text{nivel de confianza deseado} \\ SE: \text{error estándar} \end{array} \right.$$

(Ecuación 35)

Datos

$$\begin{array}{l} d : \text{error de muestreo o precisión} \\ Z_{\alpha}: 95\% \\ SE: \text{error estándar} \end{array}$$

Tabla 17.

Valores de diferentes niveles de confianza

α	Nivel de confianza (1 - α)	Z_{α}
0.05	95%	1.96
0,01	99%	2.576
0,025	97,5%	2.24

Número mínimo de observaciones:

$$n = \frac{(Z_{\alpha} * \sqrt{2p(1-p)} + Z_{\beta}) * (\sqrt{p_1(1-p_1)} + \sqrt{p_2(1-p_2)})^2}{(p_1 - p_2)^2}$$

Dónde:

$$\left\{ \begin{array}{l} n \text{ número mínimo de muestras} \\ \mathbf{Z}_\alpha \text{ valor estadístico correspondiente al nivel de confianza} \\ \mathbf{Z}_\beta \text{ valor estadístico al poder asignado a la prueba.} \\ \mathbf{p}_1 \text{ valor de proporción en el grupo de referencia.} \\ \mathbf{p}_2 \text{ valor de proporción en el grupo nuevo de tratamiento} \\ \mathbf{p} \text{ promedio} \end{array} \right.$$

(Ecuación 36)

$$n = \frac{(0.30) - (0.30)^2 * (0.842 + 1.4 * 1.96)^2}{(0,3)^2}$$

$$n = 30$$

n es el número de muestras y réplicas para el análisis.

4.2 Pruebas

4.2.1 Pruebas iniciales de configuración y funcionamiento

En las pruebas iniciales, se lleva a cabo la verificación de funcionamiento del NI USRP N2920, donde se aplican ejercicios de recepción y transmisión.

Prueba 1

Para llevar a cabo las pruebas iniciales, se van a utilizar dos VIs propios de LabView, que ayuden a la transmisión y recepción de señales de información, evidenciando conectividad, comunicación y funcionamiento entre dos NI USRP 2920, como se visualiza en la Figura 139.

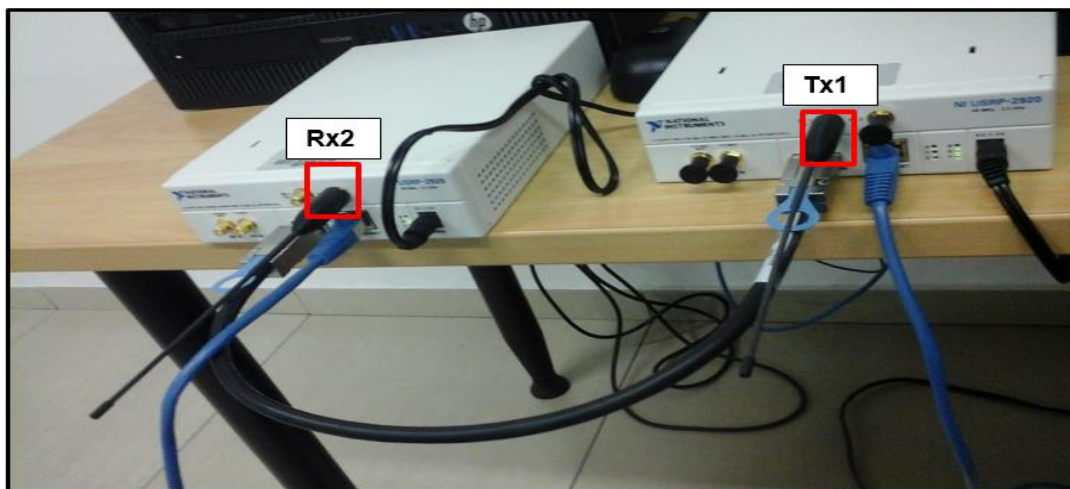


Figura 139. Conexión con NI USRP 2920 Rx y Tx

Se inicia la conexión con la computadora y el NI USRP para transmisión y el NI USRP para recepción.

Al abrir NI USRP *Configuration Utility*, que se encargará de manejar las dos conexiones de los USRPs, quedando de la siguiente manera:

Tabla 18.

Tabla de direccionamiento IP

Dispositivo	Dirección IP	Máscara
PC	192.168.10.1	255.255.255.0
USRP Tx	192.168.10.2	255.255.255.0
USRP Rx	192.168.10.3	255.255.255.0

Nota: En la tabla 18 se encuentran las direcciones IP y máscaras de los dispositivos para pruebas de recepción y transmisión.

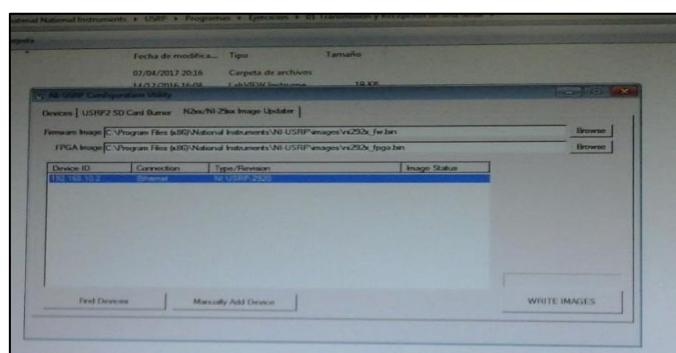


Figura 140. NI USRP Configuration Utility

Se calibran los valores en referencia al ejemplo y se obtiene los siguientes resultados, que se visualiza a continuación:

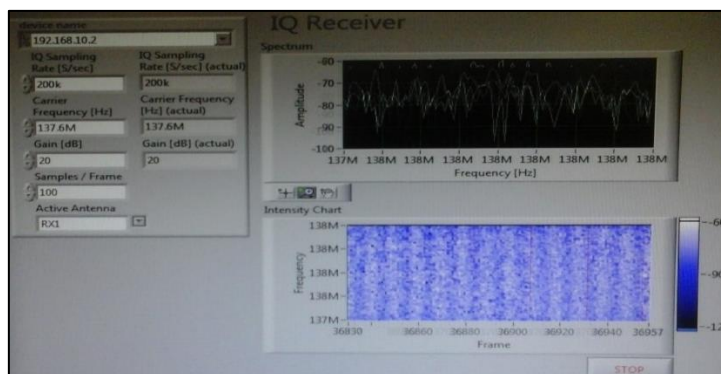


Figura 141. Resultados de la Prueba 1

Tabla 19

Parámetros de Entrada Prueba 1

Device name	192.168.10.2
IQ Sampling rate	200k
Carrier Frecuency	137.6M
Gain	20
Samples/Frame	2000000
Active Antenna	RX1

Nota: En la tabla 19 se describe los parámetros de configuración de inicio para la prueba N1



Figura 142. Parámetros de entrada para RX1

Los resultados reflejan que existe conexión entre dispositivos, en la transmisión de la señal y recepción de la misma. Por tanto, cumple con lo especificado por el ejercicio de NI USRP transmisión y recepción de una señal continua.

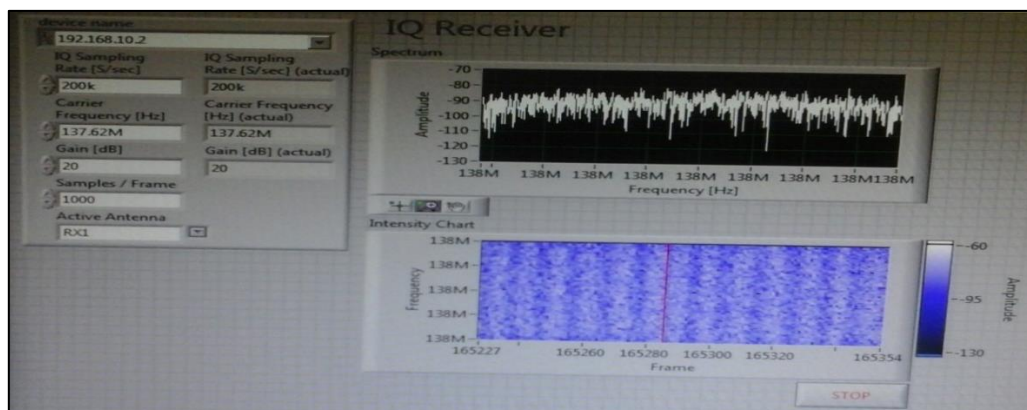


Figura 143. Resultados de la Prueba 2

Tabla 20.

Parámetros de Entrada Prueba 2

Device name	192.168.10.2
IQ Sampling rate	200k
Carrier Frequency	137.62M
Gain	0-7-20
Samples/Frame	1000/100000
Active Antenna	RX1

Nota: En la tabla 20 se detallan los parámetros iniciales de recepción

4.2.2 Pruebas de ejecución

4.2.2.1 Pruebas de Filtros

En las pruebas de filtros sirven para conocer el tipo de filtro más adecuado para trabajar en las señales FM, y realizar una comparación entre las señales satelitales, mediante los parámetros de captación, procesamiento, resultados y análisis final de las señales. A continuación, se presentan las pruebas de cada uno y la respuesta a la señal recibida.

Filtro Butterworth

Medición en Filtro Pasa Alto

La medición de la señal está compuesta por la adquisición de la información al reflejar la etapa de la demodulación en la siguiente imagen.

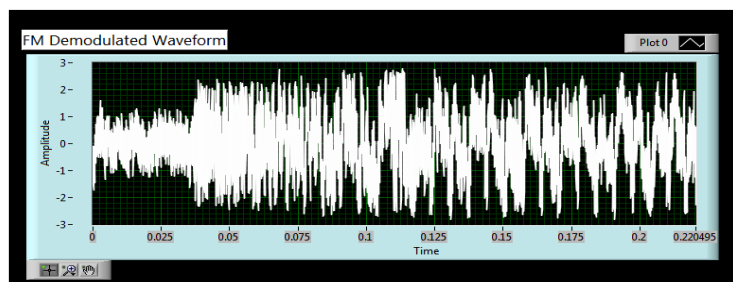


Figura 144. Prueba de funcionalidad de Filtro Butterworth Pasa Alto – Demodulación

Procesamiento de la señal

El procesamiento de la señal comprende la onda que pasa por el filtro pasa alto y el re-muestreo de la onda que se visualiza a continuación:

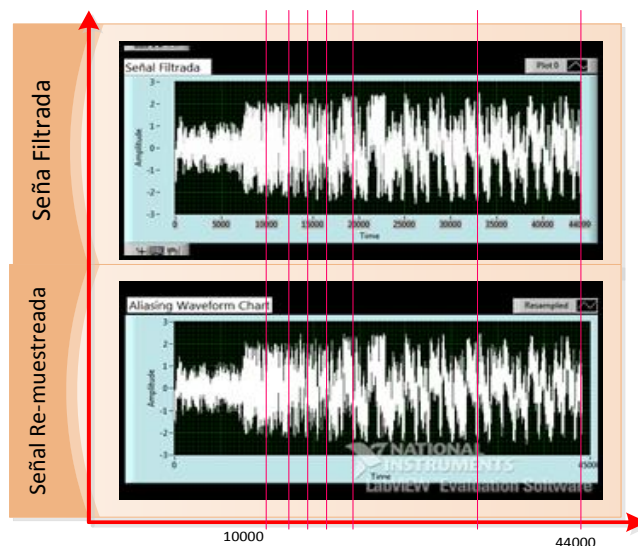


Figura 145. Prueba de funcionalidad de Butterworth Filtro Pasa Alto – filtrado y re-muestreo

La comparación que existe entre las señales es muy similar, lo que indica que la señal se ajusta a las dos etapas haciendo que sea nítida.

Análisis Espectral de la señal

El análisis espectral toma la información de las señales I y Q, para conocer los cambios en la amplitud y la fase de onda.

Medición de tono de la señal

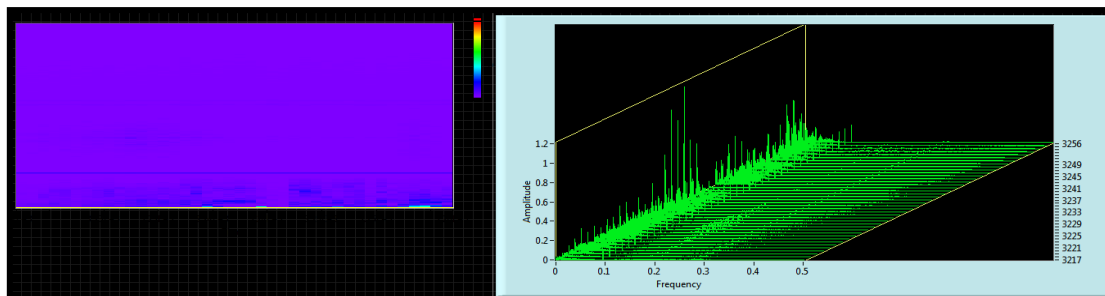


Figura 146. Prueba de funcionalidad de Filtro Butterworth Pasa Alto – Colormap y Waveform

Resultado

Se muestra la intensidad de la señal y la emisión del sonido tiende a ser claro, pero con interferencia de ruido, similar a un pitido en tono bajo.

Medición en Filtro Paso Bajo

La medición de la señal está compuesta por la adquisición de la información al reflejar la etapa de la demodulación en la siguiente imagen.

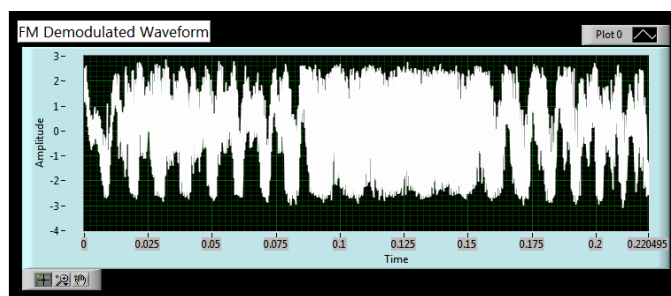


Figura 147. Prueba de funcionalidad de Butterworth Filtro Pasa Bajo – Demodulación

Procesamiento de la señal

El procesamiento de la señal comprende la onda que pasa por el filtro pasa bajo y el re-muestreo de la onda que se visualiza a continuación:

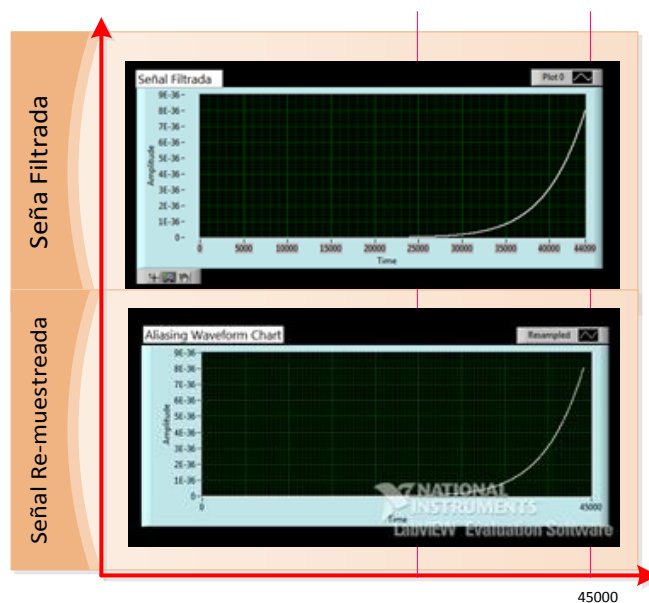


Figura 148. Prueba de funcionalidad de Filtro Butterworth Pasa Bajo – filtrado y re-muestreo

No existe una señal válida que se ajuste a las características iniciales del filtro pasa bajo.

Análisis Espectral de la señal

El espectro de potencia de la señal no se visualiza y el diagrama de I Vs. Q no cumple con las características que determinan dentro de la gráfica la forma de un toroide.

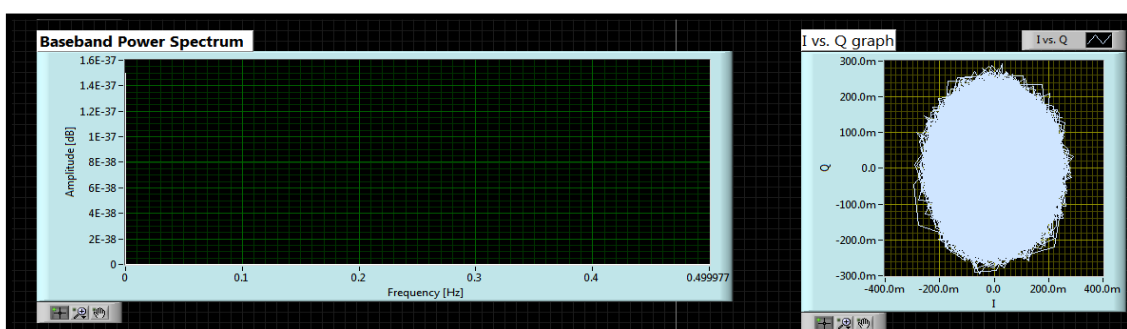


Figura 149. Prueba de funcionalidad de Butterworth Filtro Pasa Bajo – Espectro de Potencia

Medición de tono de la señal

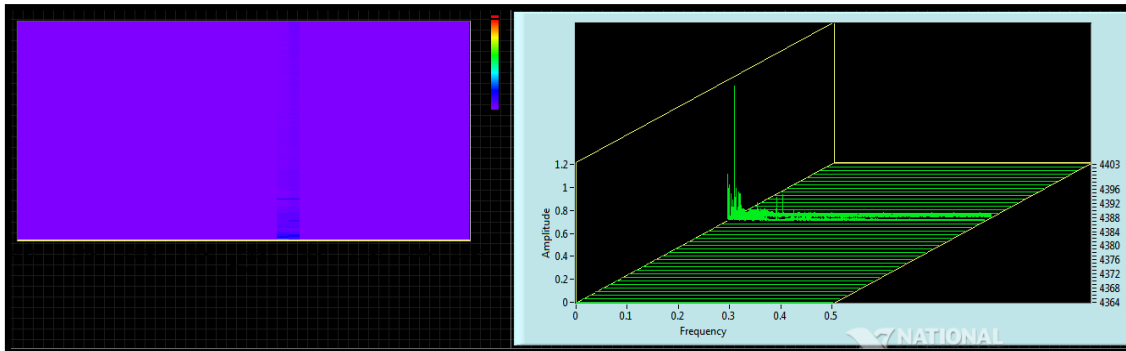


Figura 150. Prueba de funcionalidad de Filtro Butterworth Pasa Bajo – Colormap y Waveform

Resultado

No existe intensidad de la señal y no se existe emisión de sonido, sólo la interferencia de un pitido cada 3 seg.

Medición en Filtro Pasa Banda

La medición de la señal está compuesta por la adquisición de la información al reflejar la etapa de la demodulación en la siguiente imagen.

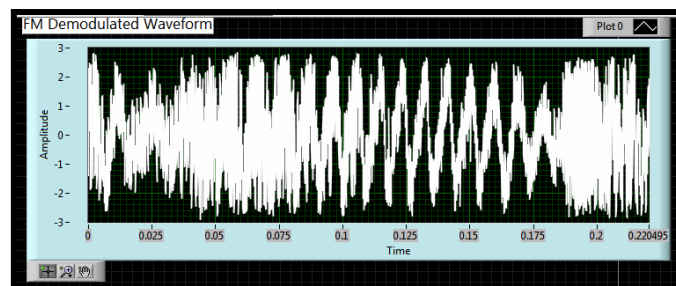


Figura 151. Prueba de funcionalidad de Filtro Butterworth Pasa Banda – Demodulación

Procesamiento de la señal

El procesamiento de la señal comprende la onda que pasa por el filtro pasa banda y el re-muestreo de la onda que se visualiza a continuación:

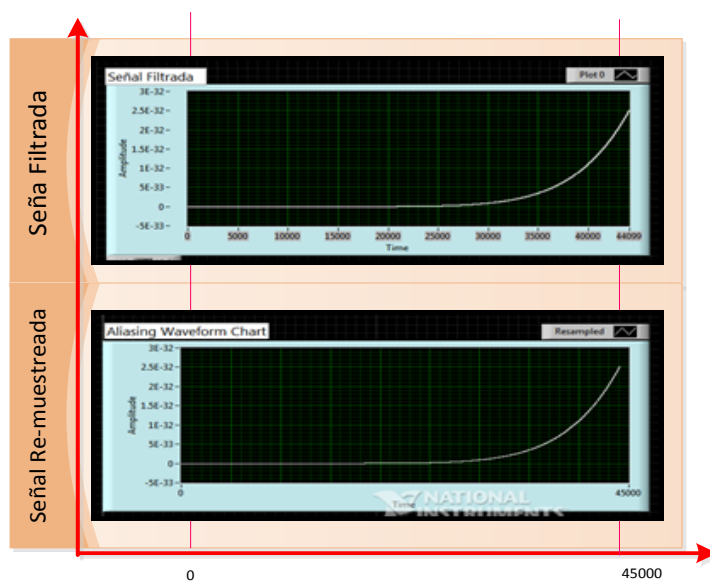


Figura 152. Prueba de funcionalidad de Butterworth Filtro Pasa Banda – filtrado y re-muestreo

Como se puede observar en la figura, no existe imagen que cumpla con las características de amplitud y fase de la señal.

Análisis Espectral de la señal

El espectro de potencia de la señal no se visualiza y el diagrama de I Vs. Q no cumple con las características que determinan dentro de la gráfica la forma de un toroide.

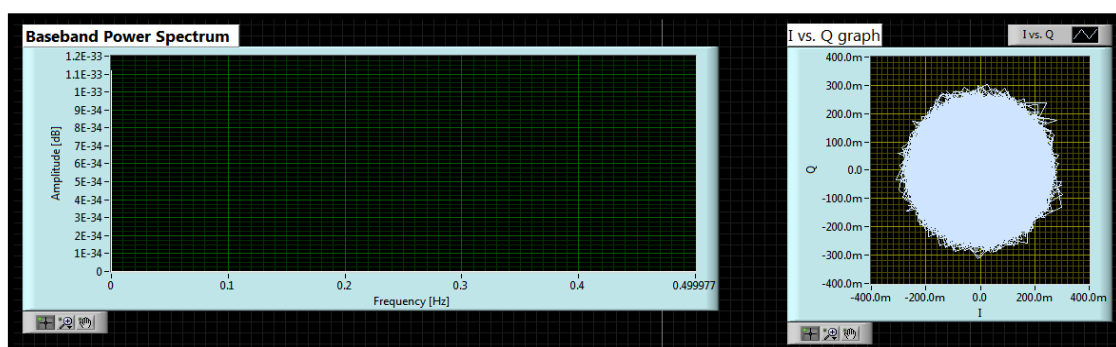


Figura 153. Prueba de funcionalidad de Butterworth Filtro Pasa Banda – Espectro de Potencia

Medición de tono de la señal

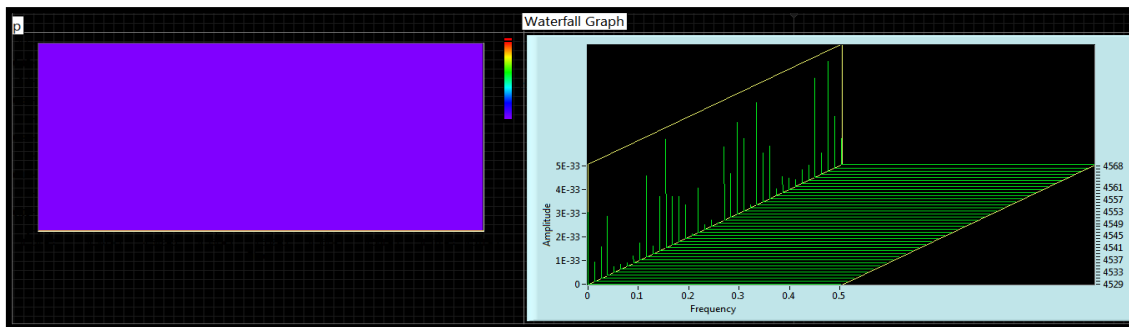


Figura 154. Prueba de funcionalidad de Filtro Butterworth Pasa Banda – Colormap y Waveform

Resultado

No se produce sonido.

Medición en Filtro Rechaza Banda

La medición de la señal está compuesta por la adquisición de la información al reflejar la etapa de la demodulación en la siguiente imagen.

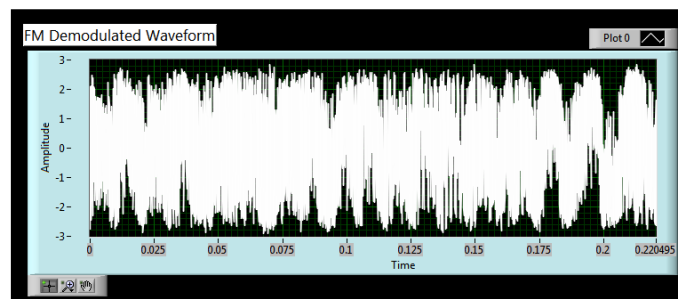


Figura 155. Prueba de funcionalidad de Filtro Butterworth Rechaza Banda – Demodulación

Procesamiento de la señal

El procesamiento de la señal comprende la onda que pasa por el filtro rechaza banda y el re-muestreo de la onda que se visualiza a continuación:

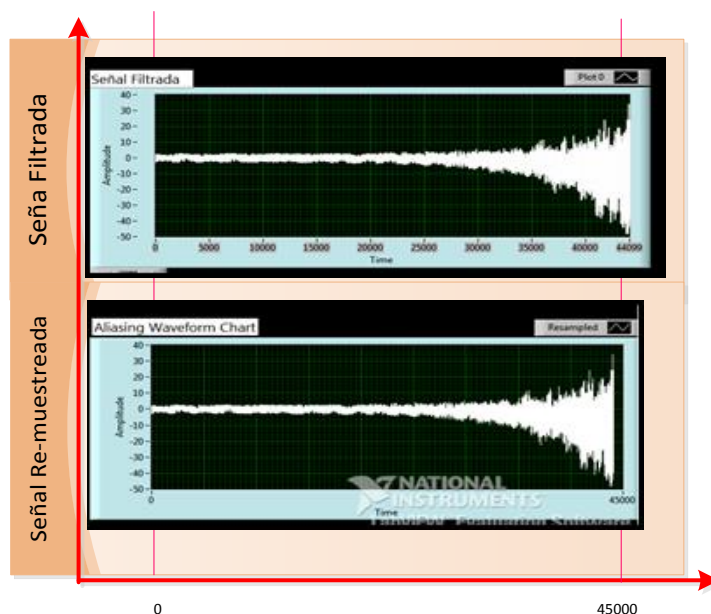


Figura 156. Prueba de funcionalidad de Butterworth Filtro Rechaza Banda – filtrado y re-muestreo

Como se puede observar en la figura, aunque al ser similares las señales no cumplen con las características de amplitud y fase.

Análisis Espectral de la señal

El espectro de potencia de la señal no cumple con la frecuencia de los parámetros iniciales y el diagrama de I Vs. Q no cumple con las características que determinan dentro de la gráfica la forma de un toroide.

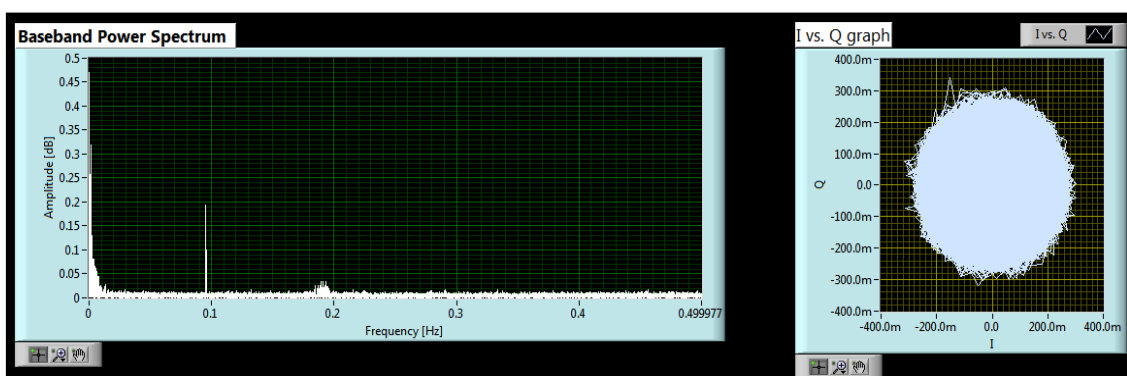


Figura 157. Prueba de funcionalidad de Butterworth Filtro Rechaza Banda – Espectro de Potencia

Medición de tono de la señal

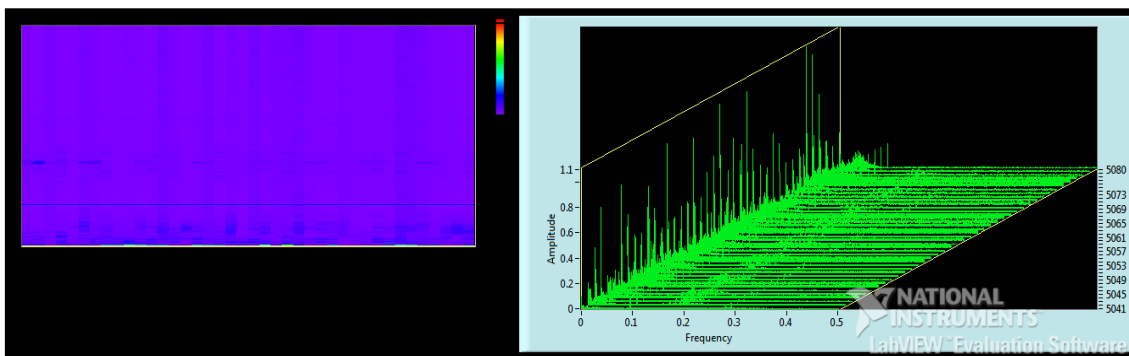


Figura 158. Prueba de funcionalidad de Filtro Butterworth Rechaza Banda – Colormap y Waveform

Resultado

La intensidad de la señal es baja como se visualiza la gama de colores emitidos en la gráfica de la izquierda, se escucha ruido, el tono original es muy bajo y está entrecortada.

Filtro Bessel

Medición en Filtro Pasa Alto

La medición de la señal está compuesta por la adquisición de la información al reflejar la etapa de la demodulación en la siguiente imagen.

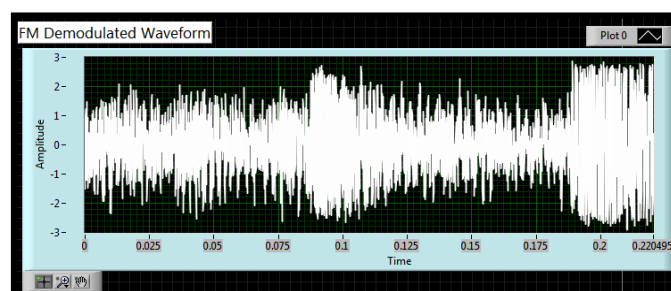


Figura 159. Prueba de funcionalidad de Filtro Bessel Pasa Alto – Demodulación

Procesamiento de la señal

El procesamiento de la señal comprende la onda que pasa por el filtro pasa banda y el re-muestreo de la onda que se visualiza a continuación:

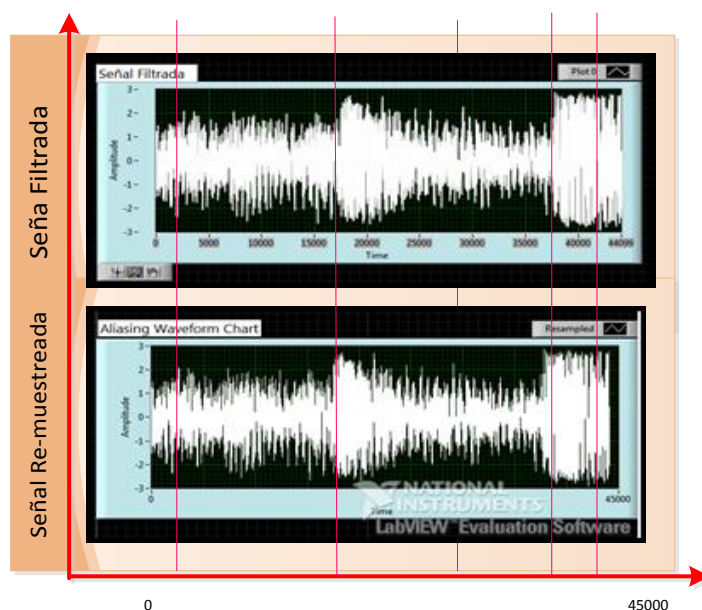


Figura 160. Prueba de funcionalidad de Filtro Bessel Pasa Alto – filtrado y re-muestreo

La señal varía en amplitud, pero la comparación entre las dos imágenes es similar.

Análisis Espectral de la señal

El espectro de potencia de la señal no cumple con la frecuencia de los parámetros iniciales y el diagrama de I vs. Q no cumple con las características que determinan dentro de la gráfica la forma de un toroide.

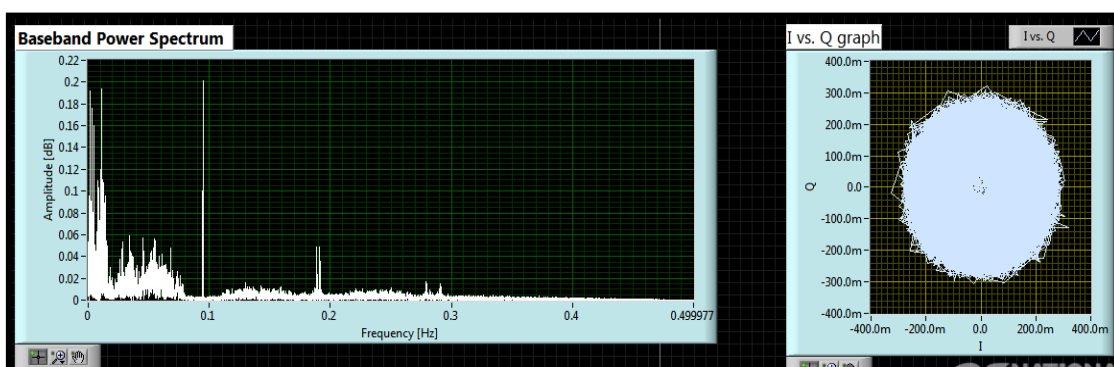


Figura 161. Prueba de funcionalidad de Filtro Bessel Pasa Alto – Espectro de Potencia

Medición de tono de la señal

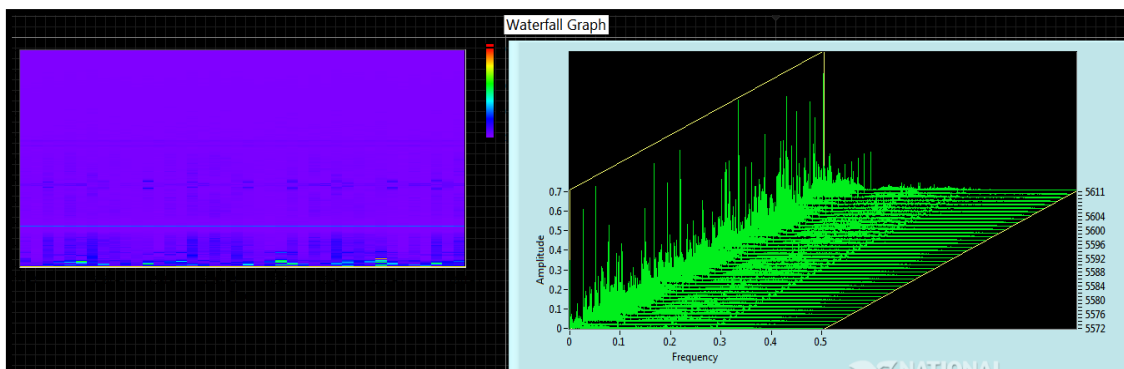


Figura 162. Prueba de funcionalidad de Filtro Bessel Pasa Alto – Colormap y Waveform

Resultado

La intensidad de la señal es baja y la emisión no es limpia.

Medición en Filtro Pasa Bajo

La medición de la señal está compuesta por la adquisición de la información al reflejar la etapa de la demodulación en la siguiente imagen.

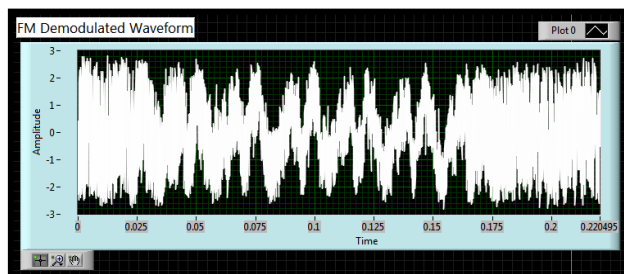


Figura 163. Prueba de funcionalidad de Filtro Bessel Pasa Bajo – Demodulación

Procesamiento de la señal

El procesamiento de la señal comprende la onda que pasa por el filtro pasa bajo y el re-muestreo de la onda que se visualiza a continuación:



Figura 164. Prueba de funcionalidad de Filtro Bessel Pasa Bajo – filtrado y re-muestreo

No proporciona una señal válida.

Análisis Espectral de la señal

El espectro de potencia de la señal no existe, y el diagrama de I Vs. Q no cumple con las características que determinan dentro de la gráfica la forma de un toroide.

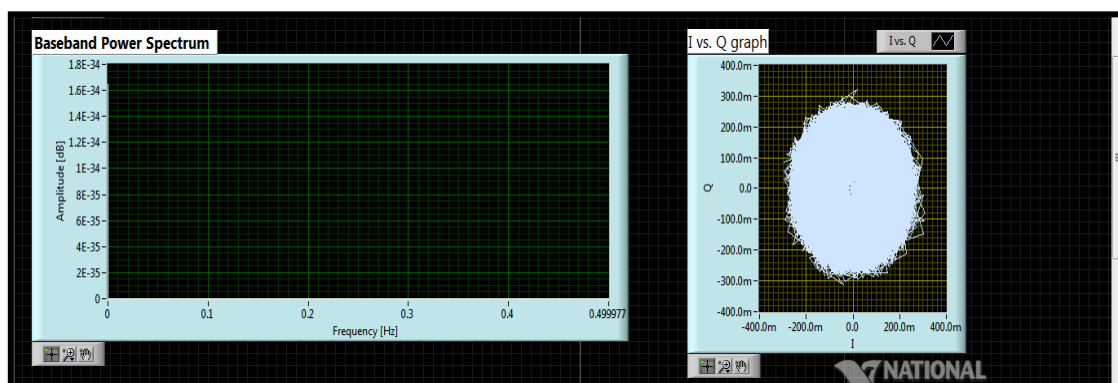


Figura 165. Prueba de funcionalidad de Filtro Bessel Pasa Bajo – Espectro de Potencia

Medición de tono de la señal

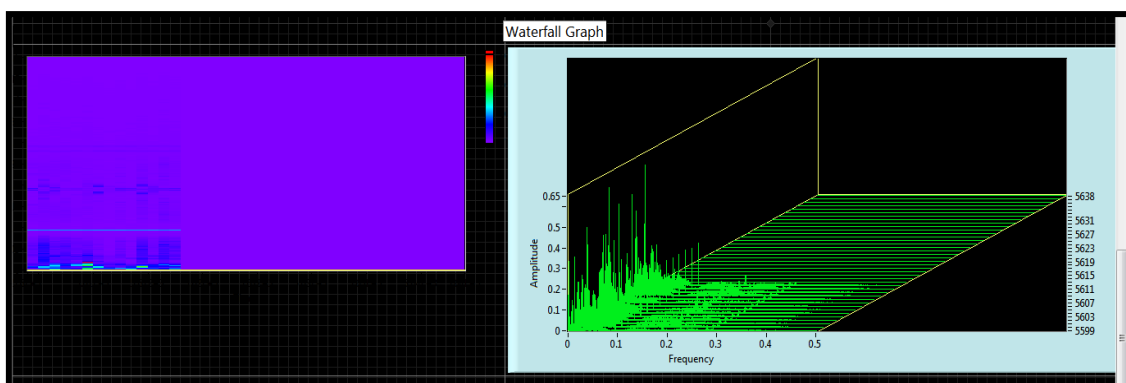


Figura 166. Prueba de funcionalidad de Filtro Bessel Pasa Bajo – Colormap y Waveform

Resultado

No se escucha el sonido de la emisión, sólo la interferencia de pitidos de forma constante.

Medición en Filtro Pasa Banda

La medición de la señal está compuesta por la adquisición de la información al reflejar la etapa de la demodulación en la siguiente imagen.

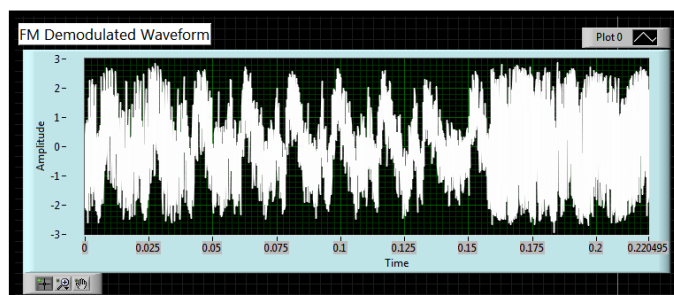


Figura 167. Prueba de funcionalidad de Filtro Bessel Pasa Banda – Demodulación

Procesamiento de la señal

El procesamiento de la señal comprende la onda que pasa por el filtro pasa banda y el re-muestreo de la onda que se visualiza a continuación:

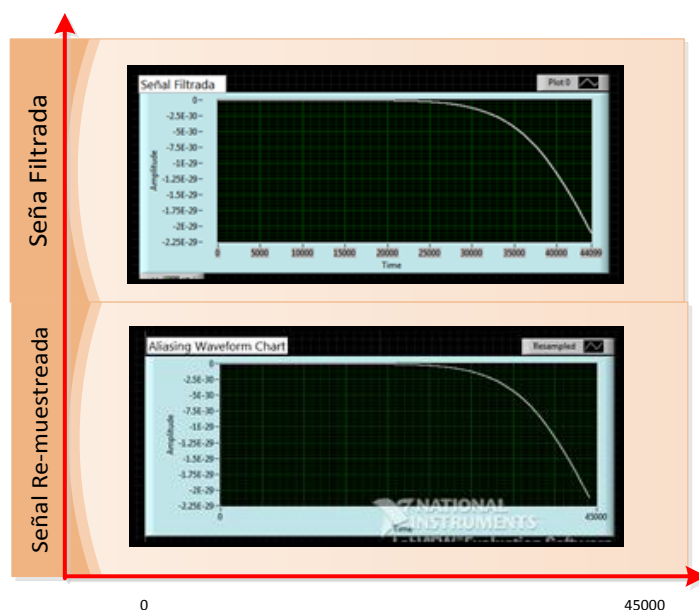


Figura 168. Prueba de funcionalidad de Filtro Bessel Pasa Banda – filtrado y re-muestreo

No se visualiza una señal válida que permita realizar la comparación entre las dos gráficas.

Análisis Espectral de la señal

El espectro de potencia de la señal no se visualiza, y el diagrama de I Vs. Q tiene la forma de un toroide, pero el centro es afectado por varios trazos, el cual indica que no facilita un buen resultado.

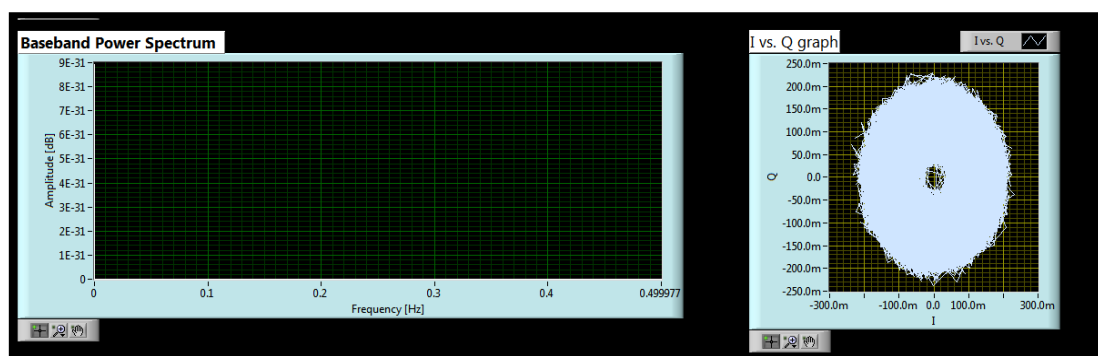


Figura 169. Prueba de funcionalidad de Filtro Bessel Pasa Banda – Espectro de Potencia

Medición de tono de la señal

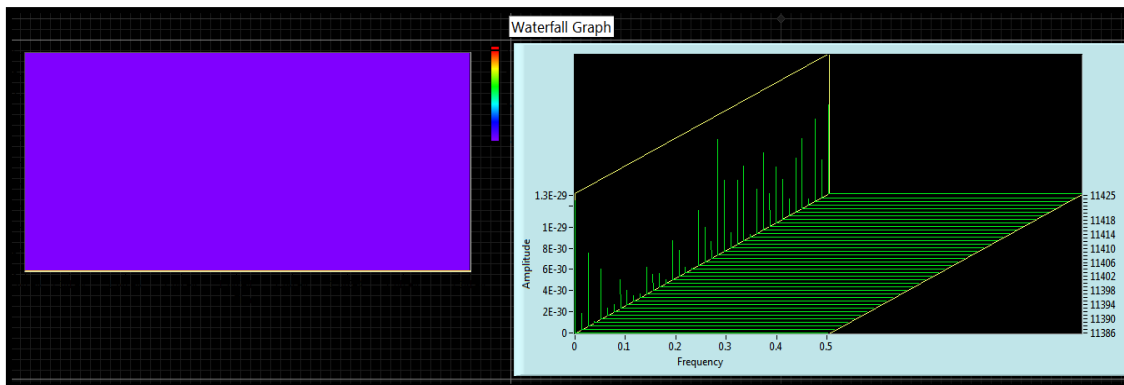


Figura 170. Prueba de funcionalidad de Filtro Bessel Pasa Banda – Colormap y Waveform

Resultado

No se muestra la intensidad de la señal y no se escucha el sonido de emisión.

Medición en Filtro Rechaza Banda

La medición de la señal está compuesta por la adquisición de la información al reflejar la etapa de la demodulación en la siguiente imagen.

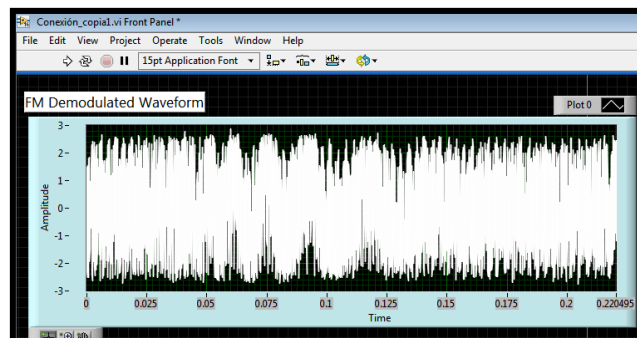


Figura 171. Prueba de funcionalidad de Filtro Bessel Rechaza Banda – Demodulación

Procesamiento de la señal

El procesamiento de la señal comprende la onda que pasa por el filtro rechaza banda y el re-muestreo de la onda que se visualiza a continuación:

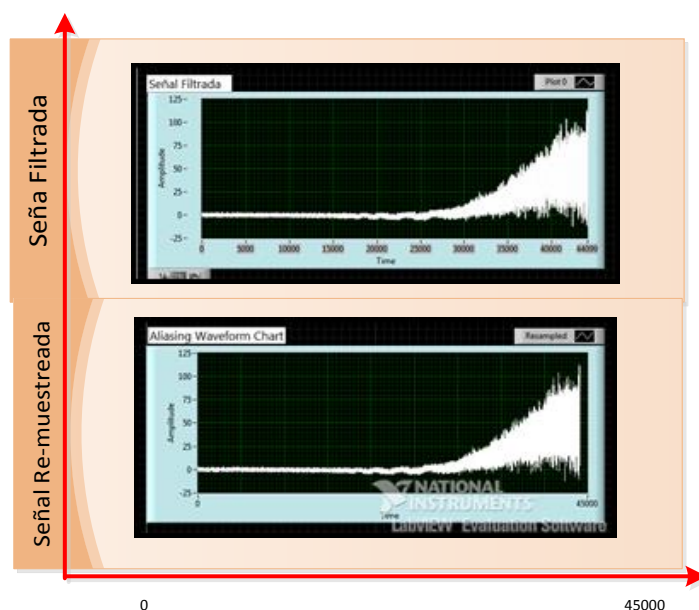


Figura 172. Prueba de funcionalidad de Filtro Bessel Rechaza Banda – filtrado y re-muestreo

Análisis Espectral de la señal

El espectro de potencia de la señal no se visualiza, y el diagrama de I Vs. Q tiene la forma de un toroide, pero el centro es afectado por varios trazos, el cual indica que no facilita un buen resultado.

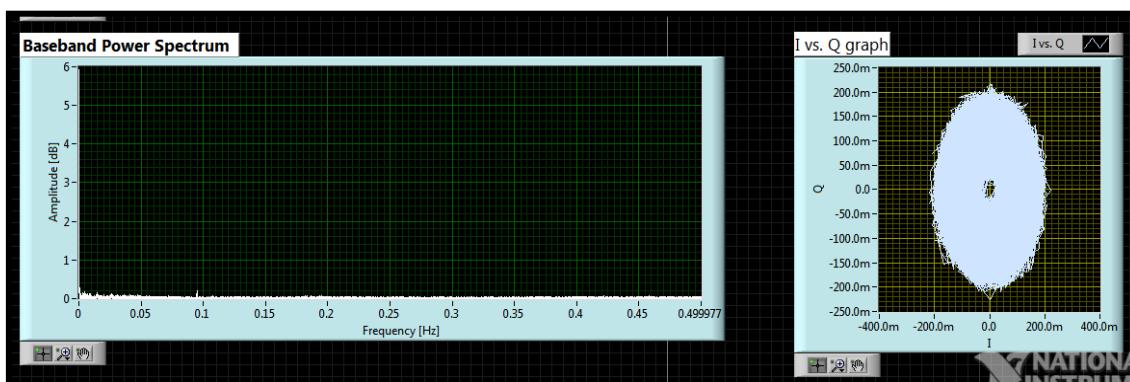


Figura 173. Prueba de funcionalidad de Filtro Bessel Rechaza Banda – Espectro de Potencia

Medición de tono de la señal

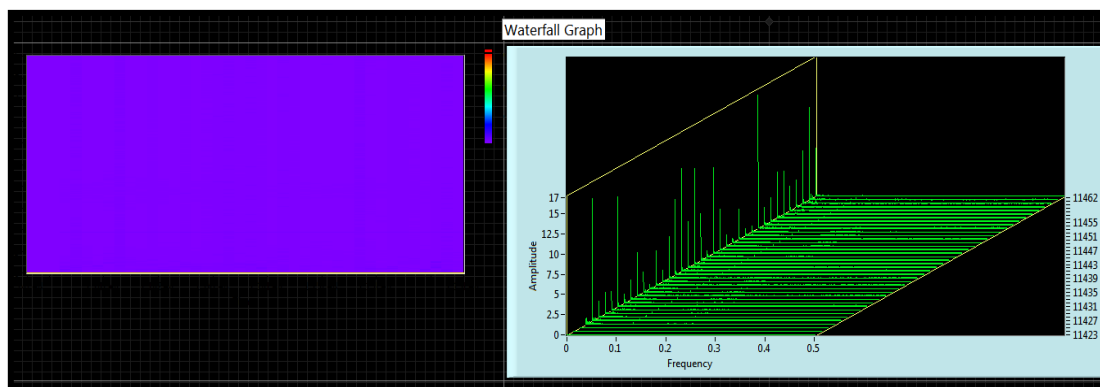


Figura 174. Prueba de funcionalidad de Filtro Bessel Rechaza Banda – Colormap y Waveform

Resultado

No se muestra la intensidad de la señal y el sonido está entre cortado, en tono bajo.

Filtro Chebyshev

Se muestran los parámetros de entrada, para las pruebas de los filtros, en este caso para el filtro Chebyshev.

PARÁMETROS DE ENTRADA

Carrier Frequency [Hz] (actual) <input type="text" value="106.5M"/>	Carrier Frequency [Hz] (actual) <input type="text" value="106.5M"/>
IQ rate <input type="text" value="200k"/>	IQ Sampling Rate [S/sec] (actual) <input type="text" value="200k"/>
gain <input type="text" value="7"/>	Gain [dB] (actual) <input type="text" value="7"/>

ETAPA DE FILTRO

Opciones FM <input type="text" value="Chebyshev Filter"/>		FM deviation (Hz) <input type="text" value="30.00k"/>
order FM <input type="text" value="10"/>	sampling freq: fs FM <input type="text" value="20000000.00"/>	number of samples <input type="text" value="44100"/>
filter type FM <input type="text" value="Highpass"/>	decimating factor <input type="text" value="10"/>	timeout <input type="text" value="10"/>

Figura 175. Parámetros de entrada del filtro Chebyshev

Medición en Filtro Pasa Alto

La medición de la señal está compuesta por la adquisición de la información al reflejar la etapa de la demodulación en la siguiente imagen.

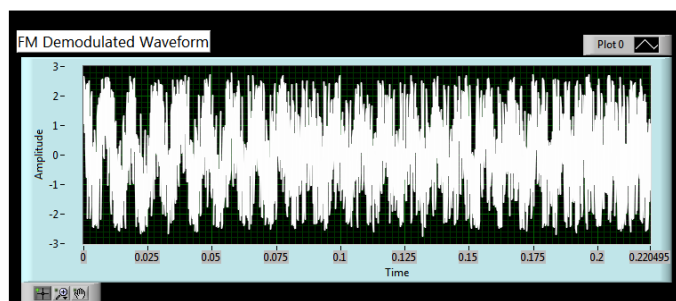


Figura 176. Prueba de funcionalidad de Filtro Chebyshev Pasa Alto – Demodulación

Procesamiento de la señal

El procesamiento de la señal comprende la onda en el filtro pasa alto y el re-muestreo de la onda que se visualiza a continuación:

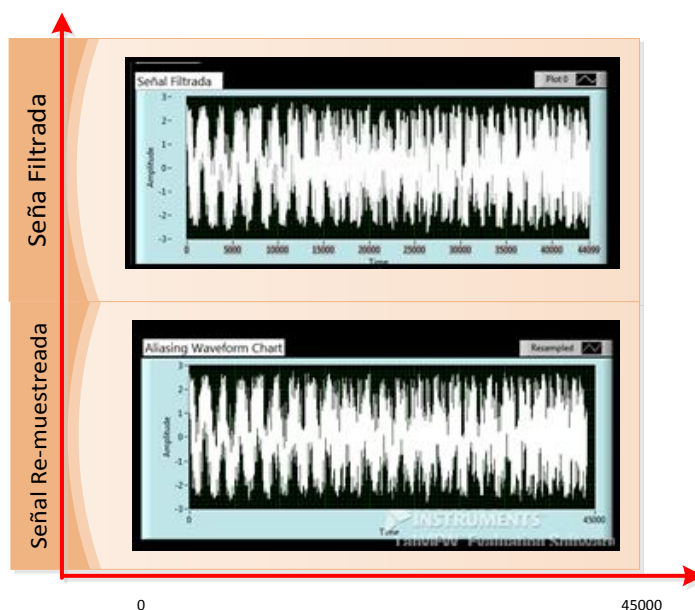


Figura 177. Prueba de funcionalidad de Filtro Chebyshev Pasa Alto – filtrado y re-muestreo

La comparación entre las señales de la gráfica de la etapa de filtrado y la gráfica de *Aliasing* es muy similar, no refleja mayores alteraciones y cumple con las características de amplitud y frecuencia.

Análisis Espectral de la señal

El espectro de potencia de la señal no refleja la frecuencia central en intervalos pequeños y la gráfica de I vs. Q proporciona una toroide con un centro de diámetro pequeño.

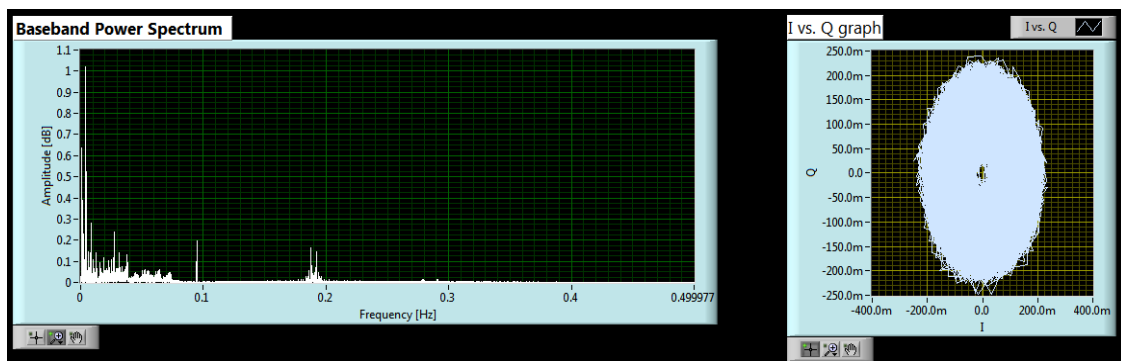


Figura 178. Prueba de funcionalidad de Filtro Chebyshev Pasa Alto – Espectro de Potencia

Medición de tono de la señal

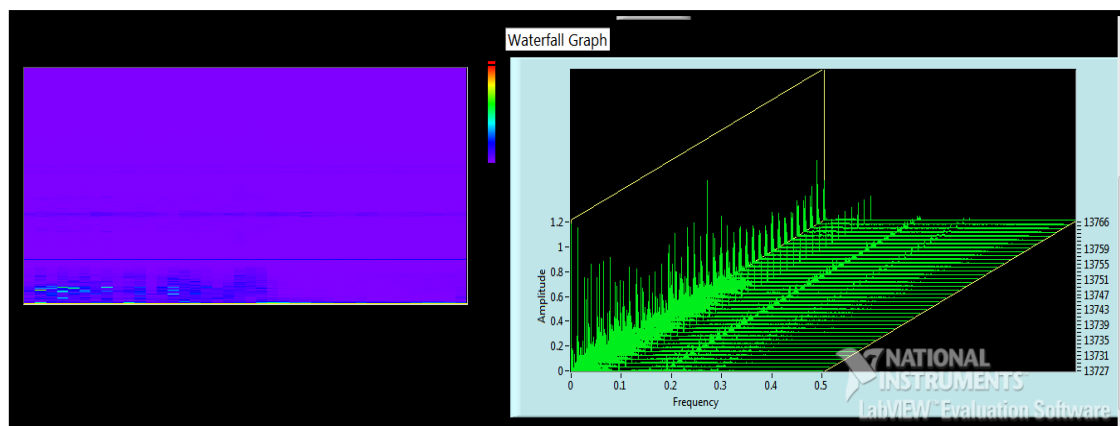


Figura 179. Prueba de funcionalidad de Filtro Chebyshev Pasa Alto – Colormap y Waveform

Resultado

La emisión de la señal es clara, el ruido es mínimo, es entendible, aunque existe un punto de parada del sonido.

Medición en Filtro Pasa Bajo

La medición de la señal está compuesta por la adquisición de la información al reflejar la etapa de la demodulación en la siguiente imagen.

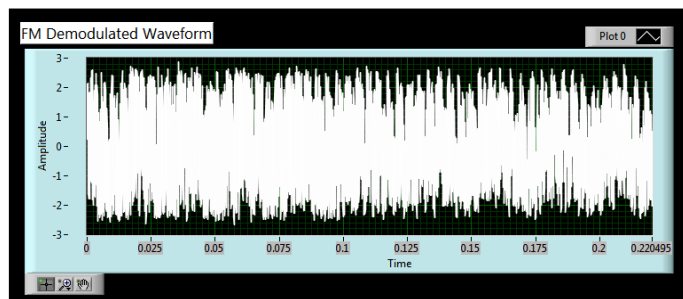


Figura 180. Prueba de funcionalidad de Filtro Chebyshev Pasa Bajo – Demodulación

Procesamiento de la señal

El procesamiento de la señal comprende la onda que pasa por el filtro pasa bajo y el re-muestreo de la onda que se visualiza a continuación:

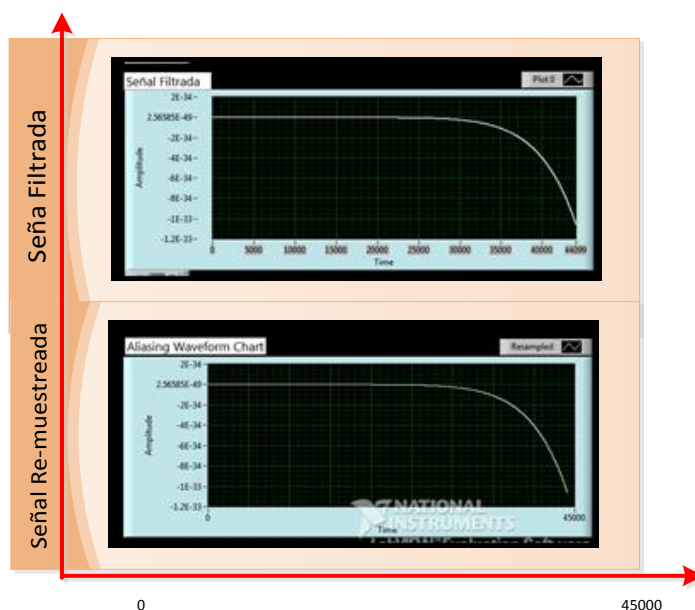


Figura 181. Prueba de funcionalidad de Filtro Chebyshev Pasa Bajo – filtrado y re-muestreo

La comparación entre las señales de la gráfica de la etapa de filtrado y la gráfica de *Aliasing* no proporciona una señal válida, ya que no cumple las características de amplitud y frecuencia.

Análisis Espectral de la señal

El espectro de potencia de la señal no refleja la frecuencia central en intervalos pequeños y la gráfica de I vs. Q proporciona una toroide con un centro de diámetro pequeño.

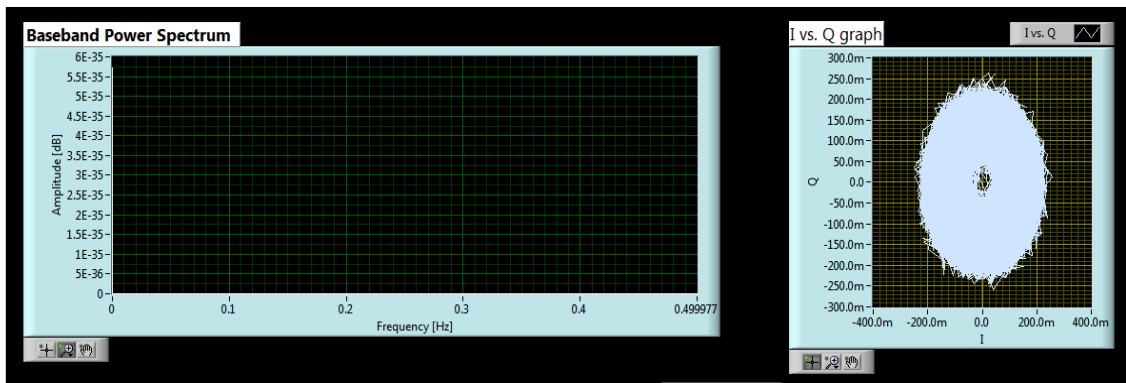


Figura 182. Prueba de funcionalidad de Filtro Chebyshev Pasa Bajo – Espectro de Potencia

Medición de tono de la señal

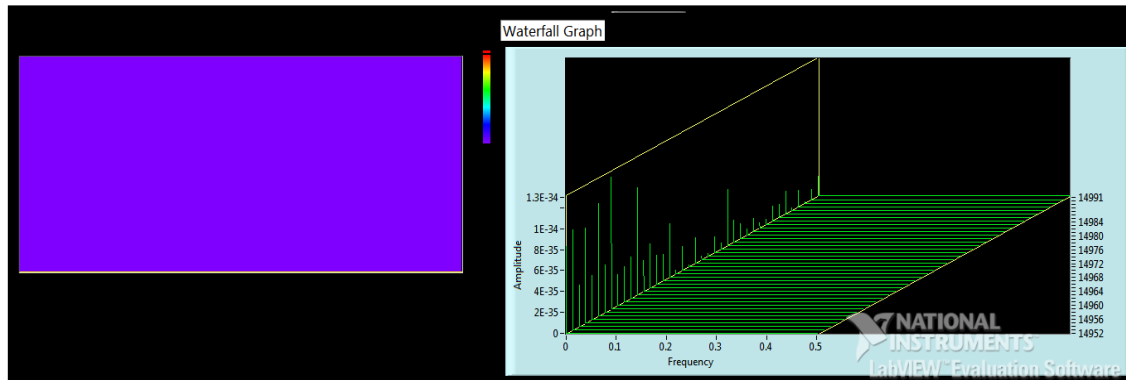


Figura 183. Prueba de funcionalidad de Filtro Chebyshev Pasa Bajo – Colormap y Waveform

Resultado

No existe un sonido claro, se emite ruido en forma de barrido y constante.

Medición en Filtro Pasa Banda

La medición de la señal está compuesta por la adquisición de la información al reflejar la etapa de la demodulación en la siguiente imagen.

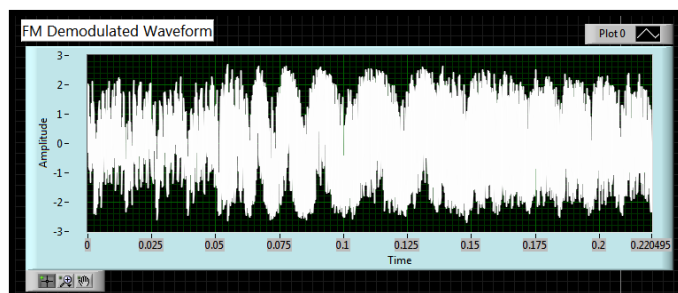


Figura 184. Prueba de funcionalidad de Filtro Chebyshev Pasa Banda – Demodulación

Procesamiento de la señal

El procesamiento de la señal comprende la onda que pasa por el filtro pasa bajo y el re-muestreo de la onda que se visualiza a continuación:

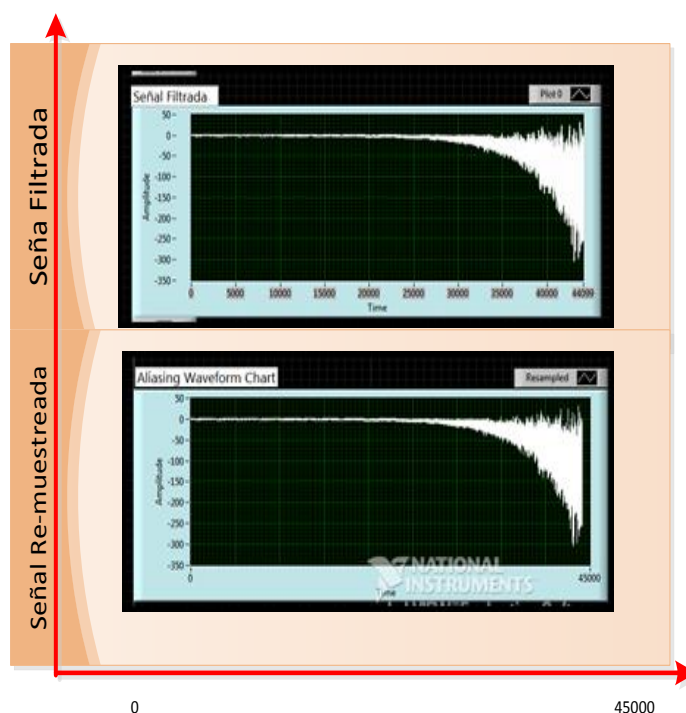


Figura 185. Prueba de funcionalidad de Filtro Chebyshev Pasa Banda – filtrado y re-muestreo

La comparación entre las señales de la gráfica de la etapa de filtrado y la gráfica de *Aliasing* no proporciona una señal válida, ya que no cumple las características de amplitud y frecuencia.

Análisis Espectral de la señal

El espectro de potencia de la señal no refleja la frecuencia central en intervalos pequeños y la gráfica de I vs. Q proporciona una toroide con un centro de diámetro pequeño.

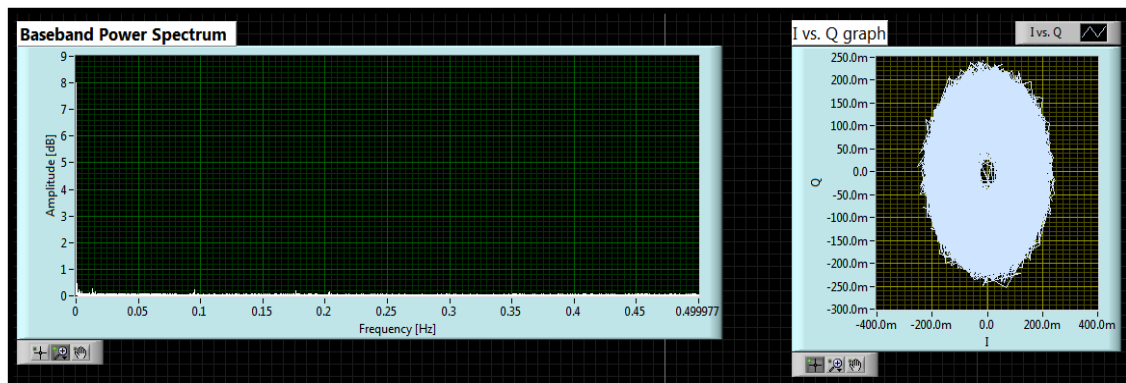


Figura 186. Prueba de funcionalidad de Filtro Chebyshev Pasa Banda – Espectro de Potencia

Medición de tono de la señal

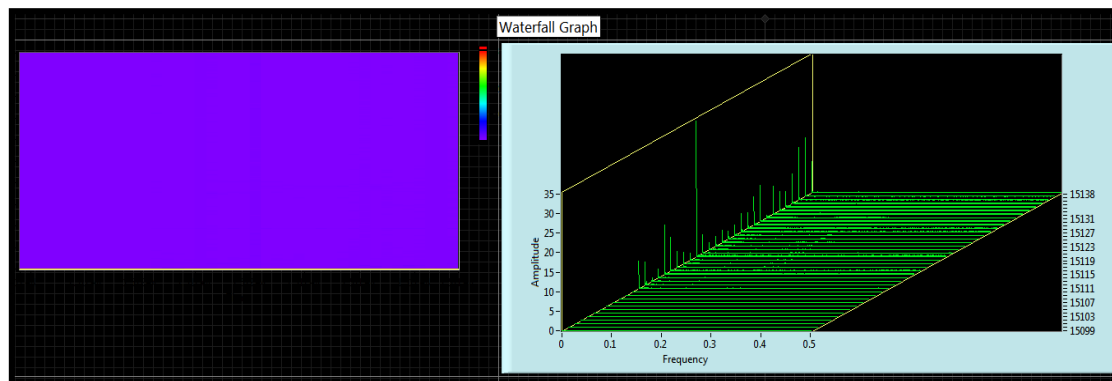


Figura 187. Prueba de funcionalidad de Filtro Chebyshev Pasa Banda – Colormap y Waveform

Resultado

No hay sonido, sólo se escucha ruido entre cortado.

Medición en Filtro Rechaza Banda

La medición de la señal está compuesta por la adquisición de la información al reflejar la etapa de la demodulación en la siguiente imagen.

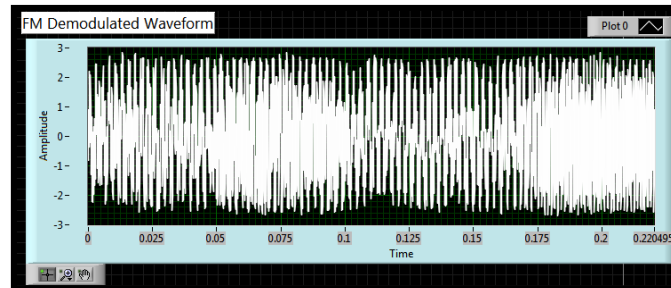


Figura 188. Prueba de funcionalidad de Filtro Chebyshev Rechaza Banda – Demodulación

Procesamiento de la señal

El procesamiento de la señal comprende la onda que pasa por el filtro pasa bajo y el re-muestreo de la onda que se visualiza a continuación:

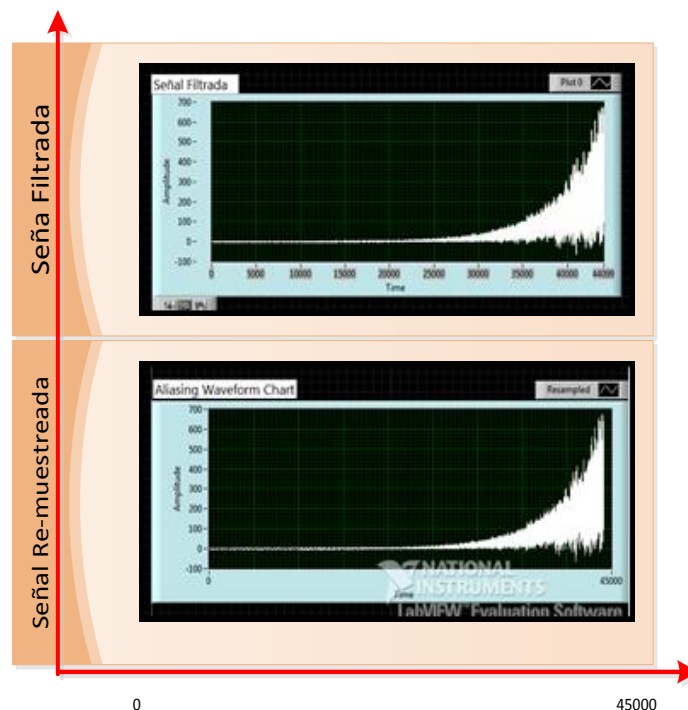


Figura 189. Prueba de funcionalidad de Filtro Chebyshev Rechaza Banda – filtrado y re-muestreo

La comparación entre las señales de la gráfica de la etapa de filtrado y la gráfica de *Aliasing* no proporciona una señal válida, ya que no cumple las características de amplitud y frecuencia.

Análisis Espectral de la señal

El espectro de potencia de la señal no proporciona una imagen y la gráfica de I vs. Q proyecta la forma de toroide con un centro de diámetro pequeño.

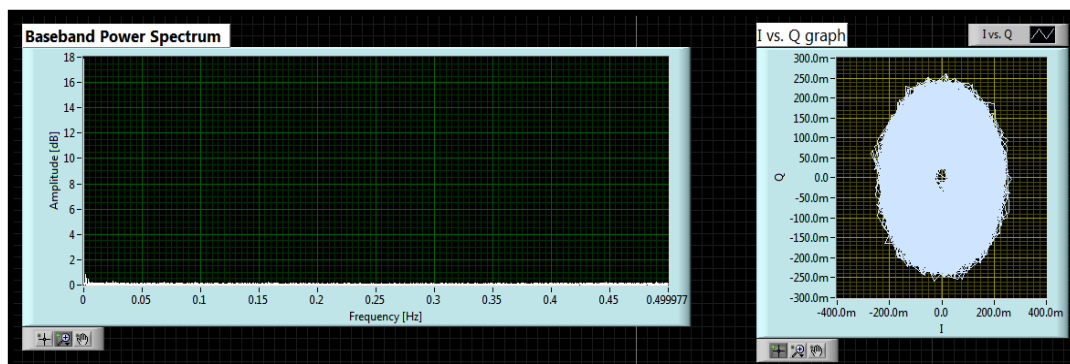


Figura 190. Prueba de funcionalidad de Filtro Chebyshev Rechaza Banda – Espectro de Potencia

Medición de tono de la señal

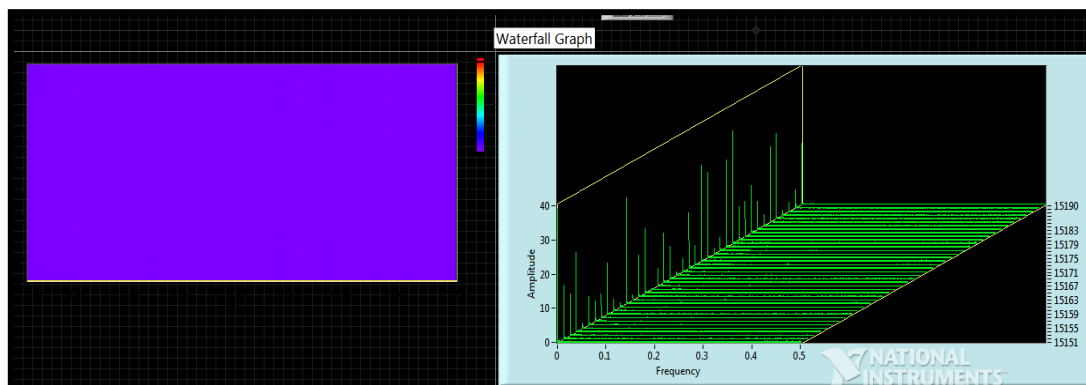


Figura 191. Prueba de funcionalidad de Filtro Chebyshev Rechaza Banda – Colormap y Waveform

Resultado

No se visualiza la intensidad de la señal y no hay sonido.

4.2.2.2 Pruebas de Comparación entre Satélites NOAA 15 y NOAA 18

La prueba de comparación entre los satélites NOAA 15 y NOAA 18, se ubican lo más cerca del punto establecido en Quito, Universidad de las Américas Campus Queri.

Pruebas del Satélite NOAA 18

Se procede verificando desde Orbitron, el tiempo de predicción para los satélites primero para el satélite NOAA 18, cobertura omnidireccional, dirigiéndose de Norte a Sur.

Configuración de entrada y parámetros iniciales para el satélite NOAA 18.



Figura 192. Parámetros de entrada para el satélite NOAA 18

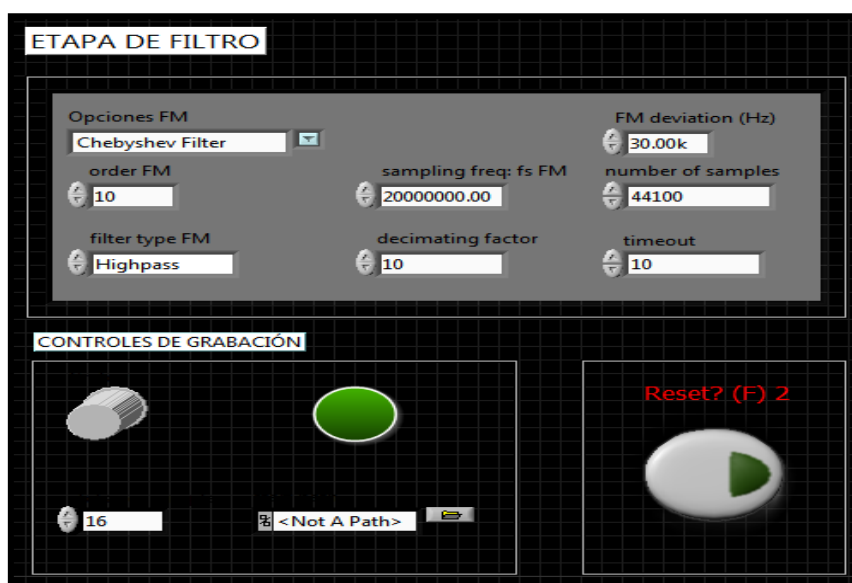


Figura 193. Configuración de parámetros del filtro Chebyshev

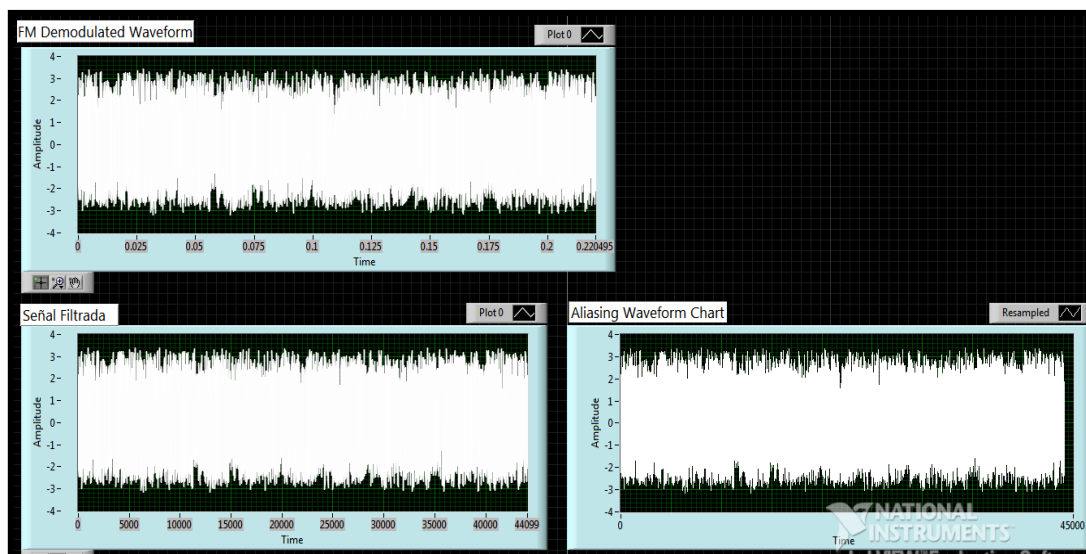


Figura 194. Medición y procesamiento de la señal satelital NOAA 18

Resultados

- Señales en etapa de demodulación y filtrado.
- Se diferencia del re-muestreo no existe un cambio notable al filtro inicial lo que indica que se reducen las señales no deseadas.

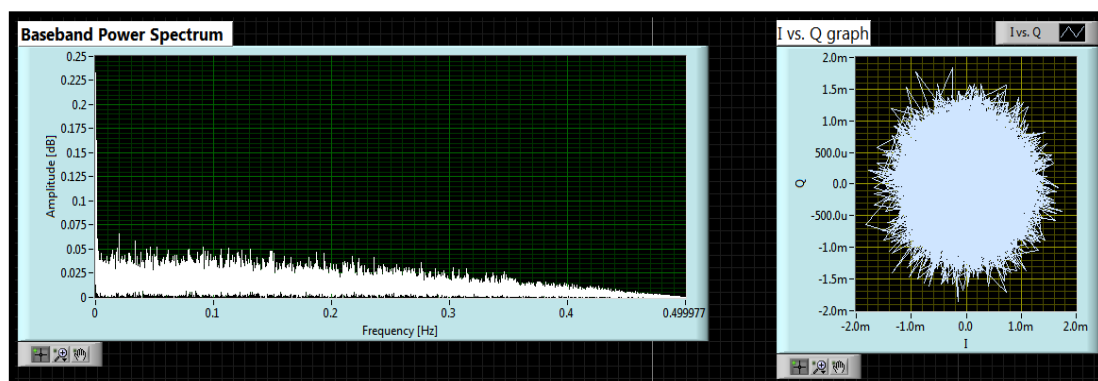


Figura 195. Espectro de la señal y Gráfica I vs. Q de la señal satelital de NOAA 18

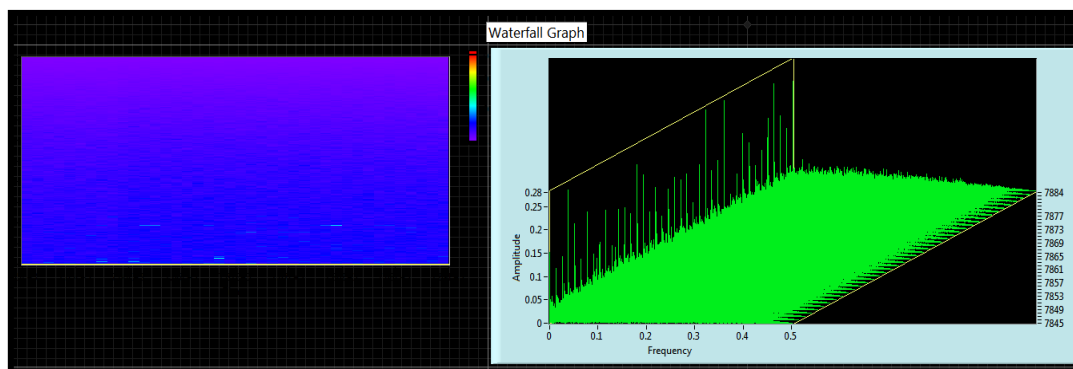


Figura 196. Gráfica de colormap y waterfall de la señal satelital NOAA 18

Pruebas del Satélite NOAA 15

Se colocan los mismos parámetros del satélite NOAA 18, como se observa a continuación:

PARÁMETROS DE ENTRADA

Carrier Frequency [Hz] (actual)	Carrier Frequency [Hz] (actual)
137.65M	137.65M
IQ rate	IQ Sampling Rate [S/sec] (actual)
200k	200k
gain	Gain [dB] (actual)
7	7

ETAPA DE FILTRO

Opciones FM		FM deviation (Hz)
Elliptic Filter		30.00k
order FM	sampling freq: fs FM	number of samples
10	20000000.00	44100
filter type FM	decimating factor	timeout
Highpass	10	10

Figura 197. Parámetros de entrada para el satélite NOAA 18

En la primera gráfica de FM *Demodulated Waveform* del Satélite NOAA 15 se puede observar que la diferencia es mínima ya que se genera una señal con picos similares a la demodulación del satélite NOAA 18.

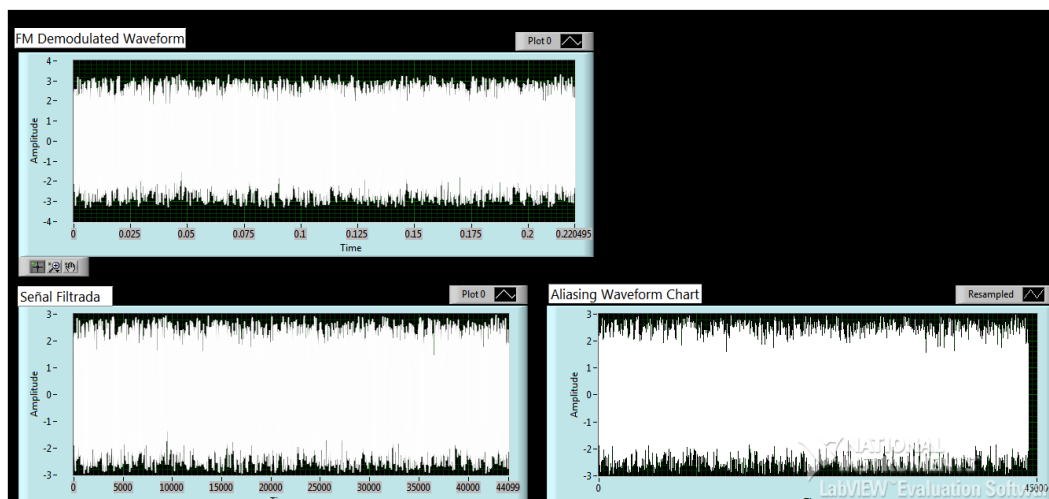


Figura 198. Medición y procesamiento de la señal satelital NOAA 15

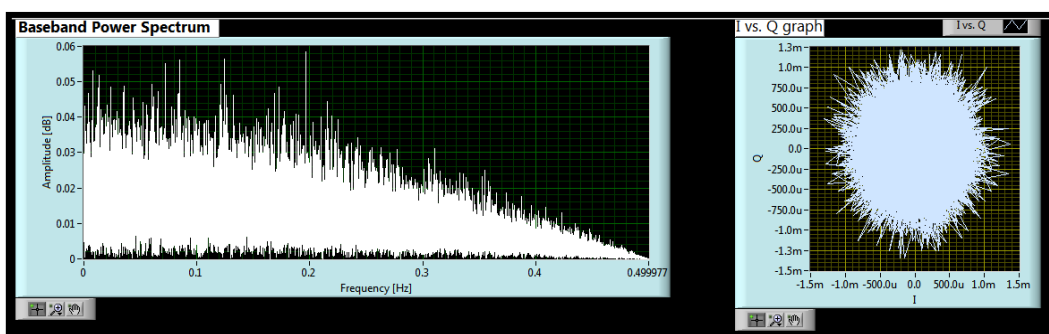


Figura 199. Espectro de la señal y Gráfica I vs. Q de la señal satelital de NOAA

18

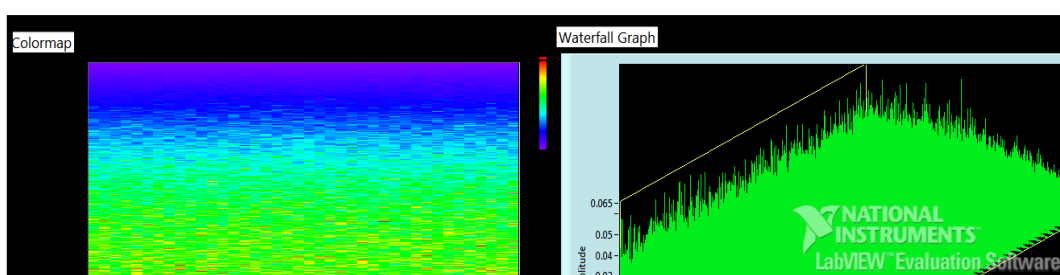


Figura 200. Gráfica de colormap y waterfall de la señal satelital NOAA 18

Resultados

La emisión no es nítida ya que refleja varias estaciones en frecuencia.

4.2.2.3 Comparación de cálculos teóricos y prácticos

Datos Teóricos de la Antena:

Ancho de Banda: 200Khz

Patrón de radiación: omnidireccional

Polarización: circular (hacia la derecha)

Ganancia de la Antena: 7 dBi

Impedancia de la Antena: $Z = 50\Omega$

Área Efectiva: $A_{eff} = 0.19$

Tabla 21.

Datos Teóricos del Satélite NOAA 18

Longitud	87.7923° O
Latitud	21.7130° S
Altura	869.819
Acimut	202.3°
Distancia	2869.862 KM
Ángulo de Declinación	-67°01'27"
Velocidad	7.411
Dirección	ascendiendo
fase	199.2°

Nota: En la Figura 21 se describe los parámetros del satélite NOAA 18.

Datos Prácticos

$$\text{EIRP(dB)} = P_{T(\text{dB})} * G_T (W)$$

$$\text{EIRP(dB)} = 10 \log(P_{T(\text{dB})}) * G_T (W)$$

$$\text{EIRP(dB)} = 10 \log(40(\text{dBm})) * 0 + 2.15(\text{dB})$$

$$\text{EIRP(dB)} = 34.44(\text{dB})$$

Dónde:

$$\begin{cases} P_t: \text{Potencia del Transmisor} \\ G_t: \text{Ganancia de la Antena} \end{cases}$$

(Ecuación 13)

Pérdidas causadas por cables

$$L_C = 10 \log_{10} \left(\frac{l}{\pi r} \right) \left\{ \begin{array}{l} r: \text{radio} \\ l: \text{longitud del cable} \end{array} \right.$$

$$L_C = 0$$

(Ecuación 37)

Balance de la Potencia

$$P_{RX} = P_T - L_{FTX} + G_{Tm\acute{a}x} - L_{FRX} + G_R$$

$$P_{RX} = 40\text{dBm} - 0 + 2.15\text{dB} - L_{FRX} + G_R$$

$$P_{RX} = 42.15\text{dB} - L_{FRX} + G_R$$

(Ecuación 38)

Por tanto, el PIRE también es igual a:

$$PIRE = L_{FTX} + L_{FRX} - G_R$$

$$34.44(\text{dB}) = (0 + L_{FRX}) - G_R$$

$$G_R = (L_{FRX}) - 34.44(\text{dB})$$

Dónde:

$$\left\{ \begin{array}{l} P_T \quad \text{Potencia de transmisión} \\ G_{Rm\acute{a}x} \quad \text{ganancia de recepción máx} \\ L_{FRX} \quad \text{Pérdidas en guía de onda en línea} \end{array} \right.$$

(Ecuación 39)

$$P_{RX} = 34.44 \text{ (dB)}$$

$$L_{p(dB)} = 20 \log \left(\frac{4\pi Df}{c} \right)$$

$$L_{p(dB)} = 20 \log \left(\frac{4\pi(0.033)(137,85 \text{ Mhz})}{3 \times 10^8 (\text{m/s})} \right)$$

$$L_{p(dB)} = -124.77 \text{ Db}$$

(Ecuación 14)

Análisis de Resultados

- Tiempo de llegada: 18:22 a 18:30.
- El sonido del satélite es muy bajo se emite cerca del punto de coordenadas de Quito, Universidad de las Américas Campus Queri.
- Existe aún ruido, la descripción del sonido es prolongado.
- Se utilizó todos los filtros y el que tuvo mejores resultados fue: Chebyshev pasa alto.
- Observación: también existió resultados con el filtro Elíptico pasa alto.

4.3 Resultados

Finalmente se observa que el satélite NOAA 18, refleja mejores resultados en cuanto a la recepción, ya que en el espectro de potencia no se visualiza un pico de la señal de NOAA 15.

5. Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

La alternativa para conocer el comportamiento del algoritmo es aplicando diferentes casos de uso con respecto a la comparación que se realiza con dos satélites, permitiendo conocer las características que tienen las señales en la etapa de recepción, es decir, amplitud, frecuencia, fase y la información que pueden proveer.

Se ha comprobado que al aplicar parámetros de entrada propios del algoritmo se puede obtener información desde un satélite hacia un punto en la Tierra, de igual manera para recepción o transmisión, existen empresas especializadas en comunicaciones satelitales que reparten información a todo el mundo como por ejemplo la televisión satelital.

Se debe conocer el proceso de modulación, antes de aplicar la demodulación, ya que es un procedimiento inverso para recuperar la señal y aplicar casos de procesamiento.

Se ha comprobado que los satélites pueden ser manejados desde una estación terrena, sin la necesidad de equipos complejos o costosos, ya que el SDR tiene como ventaja ofrecer a las personas el manejo de señales de radio mediante *software*, optimizando espacio, tiempo y dinero.

Se ha establecido que los cálculos del enlace satelital han contribuido en el desarrollo del algoritmo, por las variables que intervienen y fueron aplicadas según los conocimientos previos.

Se debe tener presente los procedimientos que rigen en la recepción de las señales satelitales, como: demodulación, filtro, decodificación y presentación en banda base.

El algoritmo de las señales satelitales permitió estudiar las técnicas para procesar información, y conocer la cantidad de datos que se puede obtener para aplicaciones de aviación, meteorología y geográficas.

5.2 Recomendaciones

Es recomendable antes de la conexión de los equipos leer el manual de USRP, ya que informa a detalle cómo manejar y tratar cada herramienta.

Es importante realizar cálculos de apoyo para tomar como referencia con respecto a los datos obtenidos en la ejecución del algoritmo.

Es importante definir en la etapa de pruebas, el número de muestras que se van a realizar, ya que evita el mal uso de tiempo y recursos o por lo contrario impide que exista imprecisión de los resultados.

Es recomendable que al utilizar la antena del USRP, manejar desde un punto externo de las instalaciones y formando un ángulo de 90° con respecto al suelo, ya que la polaridad del satélite es omnidireccional.

Referencias

- Escuela Técnica Superior de Ingenieros. (2011). *Software Defined Radio: USRP y Plataformas de Desarrollo*. España. Recuperado el 6 de marzo de 2017 de http://bibing.us.es/proyectos/buscar/usrp/en/todo/and//en/todo/limitado_a/todos/entre/1970/y/2017///1
- Universidad Politécnica de Valencia. (2014). *GNSS: GPS: fundamentos y aplicaciones en geomática*. España. Recuperado el 6 de marzo de 2017 de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4193/1/CD-2563.pdf>
- National Instrument. (2017). *Global Synchronization and Clock Disciplining with NI USRP-293x*. Software Defined Radio. Recuperado el 6 de marzo de 2017 de <http://www.ni.com/tutorial/14705/en/>
- AMSAT EA. (2016). *Los Satélites Meteorológicos: Sistemas y descripción*. España. Recuperado el 6 de marzo de 2017 de <http://www.ea.amsat.org/meteo/3/3.htm>
- Aktham Asfour. (2011). *Low-Field NMR/MRI Systems Using LabVIEW and Advanced Data-Acquisition Techniques*. Recuperado el 6 de marzo de 2017 de https://www.researchgate.net/figure/221914337_fig12_Fig-13-Down-sampling-and-Digital-Down-Conversion-DDC-of-the-NMR-signals
- Fernando Fernández de Villegas. (2008). *La Radio Definida por Software (SDR)*. Recuperado el 6 de marzo de 2017 de <http://www.ea1uro.com/sdr1/sdr.htm>
- Clark, C. (2005). *LabVIEW Digital Signal Processing and Digital Communications*. United States. McGrae-Hill.
- Travis, J. (2006). *LabVIEW for Everyone Graphical Programming Made Easy and Fun*. United States. McGrae-Hill.
- Universidad Técnica Particular de Loja. (2014). *Diseño e Implementación de una Estación Terrena para la Obtención de Imágenes Satelitales Meteorológicas usando la plataforma USRP*. Ecuador. Recuperado

el 15 de marzo de 2017 de
<http://dspace.utpl.edu.ec/handle/123456789/9938>

Universidad Politécnica Salesiana. (2015). *Diseño de un algoritmo para el análisis y monitoreo del estándar ISDB-Tb de la Televisión Digital Terrestre usando una plataforma de Radio Definido por Software*. Universidad Politécnica Salesiana. Ecuador. Recuperado el 15 de mayo de 2017 de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/10383>.

Universidad Politécnica Salesiana. (2015). *Diseño de un algoritmo para el análisis y monitoreo de parámetros de señales LTE 4G utilizando la plataforma de radio definido por Software (USRP)*. Ecuador. Recuperado el 15 de mayo de 2017 de <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/10419/1/UPS-GT001480.pdf>

Escuela Politécnica Nacional. (2016). *Estudio de los satélites de nueva generación y sus aplicaciones en el ámbito de las Telecomunicaciones*. Ecuador. Recuperado el 22 de mayo de 2017 de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4193/1/CD-2563.pdf>

National Instruments Corporation. (2016). *USRP*. Recuperado el 29 de mayo de 2017 de <http://www.ni.com/sdr/usrp/esa/>.

National Oceanic and Atmospheric Administration. (s. f.). *Our Satellites*. Recuperado el 29 de mayo de 2017 de <https://www.nesdis.noaa.gov/content/our-satellites>.

National Instrument. (s. f.). *NI USRP 292X/293X Datasheet*. Recuperado el 29 de mayo de 2017 de <http://www.ni.com/datasheet/pdf/en/ds-355>

ANEXOS

DEVICE SPECIFICATIONS


NI USRP-2920

50 MHz to 2.2 GHz Tunable RF Transceiver

This document lists specifications for the NI USRP-2920 (USR2920) universal software radio peripheral (USR2920).


All characteristics described in this document are based on the manufacturing design. This equipment information is only for product description and is not covered by warranty. The USRP-2920 is not a calibrated device.

Characteristic specifications are unwarranted values that are representative of an average unit operating at room temperature.

 **Note** These specifications are characteristic at 25 °C unless otherwise noted.

Specifications are subject to change without notice. For the most recent USRP-2920 specifications, visit ni.com/manuals.

To access USRP-2920 documentation, navigate to **Start>All Programs>National Instruments>NI-USRP>Documentation**.

 **Caution** Do not operate the USRP-2920 in a manner not specified in this document. Product misuse can result in a hazard. You can compromise the safety protection built into the product if the product is damaged in any way. If the product is damaged, return it to National Instruments for repair.

Contents

Transmitter.....	2
Receiver.....	2
Power.....	3
Physical Characteristics.....	4
Environment.....	4
Operating Environment.....	4
Compliance and Certifications.....	4
Safety.....	4
Electromagnetic Compatibility.....	4
CE Compliance.....	5
Online Product Certification.....	5
Environmental Management.....	5

Figura 201. Especificaciones del dispositivo NI USRP 2920 Parte 1

Tomado de (Instrument N. , NI USRP 292X/293X Datasheet, s.f)

Transmitter

Frequency range	50 MHz to 2.2 GHz
Frequency step	<1 kHz
Maximum output power (P_{out})	
50 MHz to 1.2 GHz	50 mW to 100 mW (17 dBm to 20 dBm)
1.2 GHz to 2.2 GHz	30 mW to 70 mW (15 dBm to 18 dBm)
Gain range ¹	0 dB to 31 dB
Gain step	1.0 dB
Frequency accuracy ²	2.5 ppm
Maximum instantaneous real-time bandwidth ³	
16-bit sample width	20 MHz
8-bit sample width	40 MHz
Maximum I/Q sample rate ⁴	
16-bit sample width	25 MS/s
8-bit sample width	50 MS/s
Digital-to-analog converter (DAC)	2 channels, 400 MS/s, 16 bit
DAC spurious-free dynamic range (sFDR)	80 dB

Receiver

Frequency range	50 MHz to 2.2 GHz
Frequency step	<1 kHz
Gain range ⁵	0 dB to 31.5 dB
Gain step	0.5 dB
Maximum input power (P_{in})	0 dBm

¹ The output power resulting from the gain setting varies over the frequency band and among devices.

² *Frequency accuracy* is based on temperature-compensated crystal oscillator (TCXO) vendor specifications and is not measured. Alternatively, you can incorporate an external reference source to provide a more precise frequency Reference Clock and to achieve better frequency accuracy.

³ Instantaneous bandwidth depends on many factors including, but not limited to, network configuration and host computer performance. Actual data throughput may be chipset dependent.

⁴ I/Q sample rate depends on many factors including, but not limited to, network configuration and host computer performance. Actual data throughput may be chipset dependent.

⁵ The received signal amplitude resulting from the gain setting varies over the frequency band and among devices.

Figura 202. Especificaciones del dispositivo NI USRP 2920 Parte 2

Tomado de (Instrument N. , NI USRP 292X/293X Datasheet, s.f)



Noise figure	5 dB to 7 dB
Frequency accuracy ⁶	2.5 ppm
Maximum instantaneous real-time bandwidth ⁷	
16-bit sample width	20 MHz
8-bit sample width	40 MHz
Maximum I/Q sample rate ⁸	
16-bit sample width	25 MS/s
8-bit sample width	50 MS/s
Analog-to-digital converter (ADC)	2 channels, 100 MS/s, 14 bit
ADC sFDR	88 dB
Power	
	Caution The protection provided by this product may be impaired if it is used in a manner not described in this document.
Total power, typical operation	
Typical	12 W to 15 W
Maximum	18 W
Power requirement	Accepts a 6 V, 3 A external DC power connector
	Note You must use either the power supply provided in the shipping kit, or another UL listed ITE power supply marked LPS, with the USRP-2920.
<p>⁶ Frequency accuracy is based on temperature-compensated crystal oscillator (TCXO) vendor specifications and is not measured. Alternatively, you can incorporate an external reference source to provide a more precise frequency Reference Clock and to achieve better frequency accuracy.</p> <p>⁷ Instantaneous bandwidth depends on many factors including, but not limited to, network configuration and host computer performance. Actual data throughput may be chipset dependent.</p> <p>⁸ I/Q sample rate depends on many factors including, but not limited to, network configuration and host computer performance. Actual data throughput may be chipset dependent.</p>	
NI USRP-2920 Specifications © National Instruments 3	

Figura 203. Especificaciones del dispositivo NI USRP 2920 Parte 3

Tomado de (Instrument N. , NI USRP 292X/293X Datasheet, s.f)

Physical Characteristics

If you need to clean the module, wipe it with a dry towel.

Physical dimensions

(L × W × H)	15.875 cm × 4.826 cm × 21.209 cm (6.25 in. × 1.9 in. × 8.35 in.)
Weight	1.193 kg (2.63 lb)

Environment

Maximum altitude	2,000 m (at 25 °C ambient temperature)
Pollution Degree	2

Indoor use only.

Operating Environment

Ambient temperature range	0 to 45 °C °C (tested in accordance with IEC 60068-2-1 and IEC 60068-2-2.)
Operating temperature	23 °C ± 5 °C, room temperature.
Relative humidity range	10% to 90%, noncondensing (tested in accordance with IEC 60068-2-56.)

Compliance and Certifications

Safety

This product is designed to meet the requirements of the following electrical equipment safety standards for measurement, control, and laboratory use:

- IEC 61010-1, EN 61010-1
- UL 61010-1, CSA 61010-1



Note For UL and other safety certifications, refer to the product label or the [Online Product Certification](#) section.

Electromagnetic Compatibility

This product meets the requirements of the following EMC standards for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

- EN 61326-1 (IEC 61326-1): Class A emissions; Basic immunity
- EN 55011 (CISPR 11): Group 1, Class A emissions

Figura 204. Especificaciones del dispositivo NI USRP 2920 Parte 4

Tomado de (Instrument N. , NI USRP 292X/293X Datasheet, s.f)

