

Construcción de una Estación Terrena de Comunicaciones Satelitales Basada en Radio Definida
por Software como Herramienta de Divulgación Científica dentro del Campus Universitario

William Moncada Mantilla

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero electrónica

Director

Efrén Darío Acevedo Cárdenas

Ingeniero Electrónico

Co Director

Julián Gustavo Rodríguez Ferreira

Doctor en Física (Astrofísica)

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Bucaramanga

2025

Agradecimientos

Quiero agradecer el logro de haber completado los últimos pasos de mi carrera y de haber cumplido un gran logro en mi vida a las personas que me ayudaron durante todo el camino, a las personas que estuvieron cerca y brindaron apoyo de una u otra forma.

A mis padres por ser una gran fuerza de apoyo, quienes siempre me han brindado su apoyo incondicional porque sin su amor y dedicación nada de esto sería posible. A mis compañeros, colegas, gracias por las horas compartidas, tiempo de trabajo e impulsar trabajos. A mis amigos, gracias por apoyarme durante horas y horas de trabajo, en especial una amiga muy cercana Kenzie Summer Nguyen, cuyo apoyo emocional perseveró durante una parte larga e importante en mi carrera. Quiero agradecer también, de manera muy especial a mi pareja Aidan James Sites, una persona llena de amor y apoyo incondicional para mí, que me acompañó durante todo el proceso y culminación de esta etapa de mi vida.

A la universidad, por su apoyo a lo largo del desarrollo del programa, fue un recorrido difícil y duradero, y deseo expresar mis agradecimientos especialmente a el director y codirector, por ser guías esenciales para el desarrollo y culminación de esta etapa, por la paciencia y la asistencia en innumerables ocasiones.

Finalmente, quiero agradecer a todos aquellos que, de una u otra manera, formaron parte de este proceso.

Contenido

	Pág.
Introducción	10
1. Objetivos	11
1.1 Objetivo General	11
1.2 Objetivos Específicos.....	11
2. Marco de Referencia	12
2.1 Comunicaciones Satelitales	13
2.2 Radio Definida por Software	17
2.3 La red SatNogs.....	20
2.4 Proyecto Anterior	22
2.5 Satélites en Colombia	23
3. Metodología	24
3.1 Implementación de un modelo funcional de estación terrena.....	25
3.2 Creación de una plataforma web interactiva.....	33
3.3 Elaboración de una guía y documentación	40
4. Conclusiones	44
Referencias.....	47
Apéndices.....	51

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. <i>Representación artística de las órbitas (LEO), (MEO) y (GEO) mencionadas.</i>	13
Figura 2. <i>Diagrama de las partes que componen un sistema de radio. Arriba, radio tradicional, abajo se tiene un sistema SDR.</i>	19
Figura 3. <i>Esquema que ilustra la red de estaciones interconectadas y la interacción entre usuarios y la información.</i>	21
Figura 4. <i>Estación terrena entregada y utilizada en el trabajo referencia, 2020</i>	26
Figura 5. <i>Captura de pantalla con un marcador mostrando la ubicación de la estación en el campus universitario.</i>	27
Figura 6. <i>Montaje de antena Helicoidal en el campo.</i>	30
Figura 7. <i>Fotografía de un analizador de espectros en el laboratorio, cursor ubicado alrededor de 400 MHz.</i>	31
Figura 8. <i>Diseño conceptual de la estación terrena, mostrando las partes clave. Acceso a internet y potencia se dan en el sitio de montaje.</i>	33
Figura 9. <i>Resumen diseño programación de la página en diagrama de flujo</i>	34
Figura 10. <i>Esqueleto o 'Mock Up' básico de página de inicio a la izquierda y página de observaciones a la derecha.</i>	36
Figura 11. <i>Esqueleto o 'Mock Up' básico de página de recursos a la izquierda y página 404 a la derecha.</i>	37
Figura 12. <i>Esqueleto o 'Mock Up' básico de página 'Acerca de' a la izquierda y página de privacidad a la derecha.</i>	39
Figura 13. <i>Resumen diseño programación de la página en diagrama de flujo</i>	41

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. <i>Designación del espectro electromagnético dentro de las bandas VHF y UHF para algunos satélites.</i>	16
Tabla 2. <i>Balance de potencia de los dispositivos del proyecto.</i>	28

Lista de Apéndices

	Pág.
Apéndice A. <i>Equipo usado para la estación, fuente conmutada industrial.</i>	51
Apéndice B. <i>Equipo usado para la estación, dispositivo RTL-SDR USB.</i>	52
Apéndice C. <i>Equipo usado para la estación, Raspberry Pi 3 Modelo B+.</i>	53
Apéndice D. <i>Equipo usado para la estación, cable coaxial que conecta con la antena exterior del laboratorio.</i>	54
Apéndice E. <i>Equipo usado para la estación, cable de poder de tres hilos.</i>	55
Apéndice F. <i>Equipo usado para la estación, caja clasificación IP65 montada permanentemente.</i>	56
Apéndice G. <i>Captura de pantalla de la herramienta de instalación.</i>	57
Apéndice H. <i>Lista de los materiales y sus costos respectivos.</i>	58

Glosario

API (Application Programming Interface o Interfaz de Programación de Aplicaciones): son un conjunto de reglas que permiten que una aplicación acceda a las funciones o datos de otra aplicación.

Backend: es una parte de una aplicación web que se ejecuta en un servidor y se encarga de la lógica o procesamiento de datos y la comunicación con bases de datos.

Frontend: es una parte de una aplicación web que se ejecuta en un navegador y se encarga de la presentación de la información y la interacción con el usuario.

CORS (Cross-Origin Resource Sharing o Intercambio de recursos de origen cruzado): es un mecanismo de seguridad del navegador web que controla como las páginas web pueden pedir recursos de otros destinos o direcciones diferentes.

ADC (Convertidor Analógico-Digital): es un dispositivo electrónico que convierte una señal analógica en una señal digital.

DAC (Conversor Digital-Analógico): es un dispositivo electrónico que convierte una señal digital a una señal analógica.

IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers): es la organización profesional que desarrolla estándares para la industria electrónica.

Resumen

Título: Construcción de una estación terrena de comunicaciones satelitales basada en radio definida por software como herramienta de divulgación científica dentro del campus universitario*

Autor: William Moncada Mantilla**

Palabras Clave: Comunicaciones Satélites, Estación Terrena, SatNOGS

Descripción:

El presente trabajo detalla la implementación de una estación terrena basada en radio definida por software (SDR) en la Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones (E3T) de la Universidad Industrial de Santander. La iniciativa surge ante la carencia de acceso a datos e imágenes satelitales actualizadas, atribuida a la falta de una estación terrena funcional. Al reacondicionar y activar esta estación, se incorpora a la red de estaciones terrenas satNOGS, siendo la primera activa en Bucaramanga.

El objetivo general de este proyecto es desarrollar un modelo funcional de estación terrena SDR para comunicaciones satelitales, además de establecer una plataforma web interactiva para la difusión de información y observaciones. Específicamente se centra en el desarrollo del modelo de estación terrena conforme a los requisitos operativos de la red satNOGS, la implementación de una plataforma web accesible al público utilizando tecnologías como Javascript, CSS y HTML, y la elaboración de una guía para replicar el proyecto, detallando procedimientos de instalación, configuración y operación de la estación.

Este trabajo documenta los esfuerzos realizados para cumplir con estos objetivos, así como los productos entregados, incluyendo un modelo funcional de estación terrena, una plataforma web interactiva y una guía para la replicación del proyecto.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Programa Ingeniería Electrónica. Director Efrén Darío Acevedo Cárdenas, Ingeniero Electrónico

Abstract

Title: Construction of a satellite communications ground station based on software-defined radio as a tool for scientific outreach within the university campus*

Author: William Moncada Mantilla**

Keywords: Ground Station, SatNOGS, Satellite Communications

Description:

The present work details the implementation of a ground station based on software-defined radio (SDR) at the School of Electrical, Electronic and Telecommunications Engineering (E3T) of the Industrial University of Santander. The initiative arises from the lack of access to updated satellite data and images, attributed to the absence of a functional ground station. By reactivating this station, it is incorporated into the network of satNOGS ground stations, being the first active one in Bucaramanga.

The general objective of the project is to develop a functional model of an SDR ground station for satellite communications, in addition to establishing an interactive web platform for the dissemination of information and observations. Specifically, it focuses on the development of the ground station model according to the operational requirements of the SATNOGS network, the implementation of a web platform accessible to the public using technologies such as Javascript, CSS, and HTML, and the preparation of a guide to replicate the project, detailing installation, configuration, and operation procedures of the station.

This work documents the efforts made to meet these objectives, as well as the products delivered, including a functional model of a ground station, an interactive web platform, and a guide for replicating the project.

* Bachelor Thesis

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Programa Ingeniería Electrónica. Director Efrén Darío Acevedo Cárdenas, Ingeniero Electrónico

Introducción

Las telecomunicaciones es una rama de la electrónica apasionante que ha evolucionado la forma en que interactuamos con el mundo conectando personas a través de vastas distancias; y aquí se encuentran las comunicaciones satelitales, otro vasto cosmos: desde la predicción meteorológica y la investigación climática hasta la navegación, los satélites desempeñan un papel esencial en nuestra vida cotidiana. Sin embargo, el acceso a este mundo puede ser limitado, ya que requiere equipo especializado.

La Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones (E3T) de la Universidad Industrial de Santander (UIS) se enfrentó a este desafío debido a la falta de una estación terrena funcional para recibir y procesar señales satelitales. La estación existente se encontraba abandonada, en un lugar inadecuado y carecía del equipo necesario para operar eficazmente.

Este proyecto aborda esta problemática mediante la implementación de una estación terrena de comunicaciones satelitales basada en radio definida por software (SDR). La estación, construida con componentes accesibles y software de código abierto, se integra a la red global satNOGS, convirtiéndose en la primera estación activa en Bucaramanga y un recurso valioso para la comunidad universitaria.

Además de la construcción de la estación terrena, este proyecto incluye el desarrollo de una plataforma web interactiva para difundir la información y las observaciones de la estación a la comunidad universitaria. Esta plataforma, diseñada con tecnologías web modernas, facilita el acceso a los datos y promueve la participación en proyectos de investigación.

En las siguientes secciones, se detallará el proceso de construcción, instalación y configuración de la estación terrena, así como la creación de la plataforma web y la elaboración de una guía para replicar el proyecto. Se espera que esta iniciativa contribuya al avance del conocimiento científico y tecnológico en la UIS y sirva como modelo para otras instituciones que buscan integrar las comunicaciones satelitales en sus actividades académicas.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Implementar un modelo funcional de una estación terrena basada en radio definida por software para comunicaciones satelitales como herramienta de divulgación científica dentro del campus universitario y utilizar medios interactivos en una página web para la difusión de la información de la estación y de sus observaciones a la comunidad.

1.2 Objetivos Específicos

Desarrollar un modelo funcional de una estación terrena basada en radio definida por software, enfocada en comunicaciones satelitales, que cumpla con los requisitos operativos de la red satNOGS.

Implementar una plataforma interactiva accesible para el público en forma de página web, utilizando tecnologías como Javascript, CSS y HTML, para difundir la información y observaciones de forma lúdica de la estación terrena a la comunidad universitaria.

Elaborar una guía que facilite la replicación del proyecto, incluyendo los procedimientos de instalación, configuración y operación de la estación terrena.

2. Marco de Referencia

Desde el vasto espacio alrededor de nuestra tierra hasta nuestro campus. Este capítulo se enfoca en algunos principios esenciales que hacen posible entender el trabajo realizado y comprender su potencial. Esta estación terrena implementada en el Campus de la Universidad Industrial de Santander tiene el poder de convertirse en una valiosa herramienta para la investigación, la enseñanza y la difusión del conocimiento científico.

En primer lugar, se exploran las comunicaciones satelitales, base esencial del proyecto. Se abordan las órbitas satelitales (GEO, LEO y MEO), las bandas de frecuencia asignadas a nivel internacional y nacional, y se identifican satélites relevantes para el proyecto dentro de estos rangos.

En segundo lugar, se describe la Radio Definida por Software (SDR), tecnología crucial para la estación terrenal. Se explican los principios, la arquitectura y las ventajas del SDR y se mencionan soluciones actuales, con énfasis en la implementación.

La red SatNOGS se presenta como un elemento central, facilitando la construcción de una estación terrena accesible y la participación en una red global de recepción de datos satelitales. Se detalla el cliente SatNOGS de la estación y su utilidad para la divulgación científica y la exploración académica.

Finalmente, se revisan antecedentes relevantes para el proyecto. Se incluye una descripción del trabajo de grado previo, 'Modelo funcional de una unidad terrena basado en radio definida por software para comunicaciones satelitales en la banda UHF', y se mencionan avances nacionales en el campo aeroespacial y de comunicaciones satelitales.

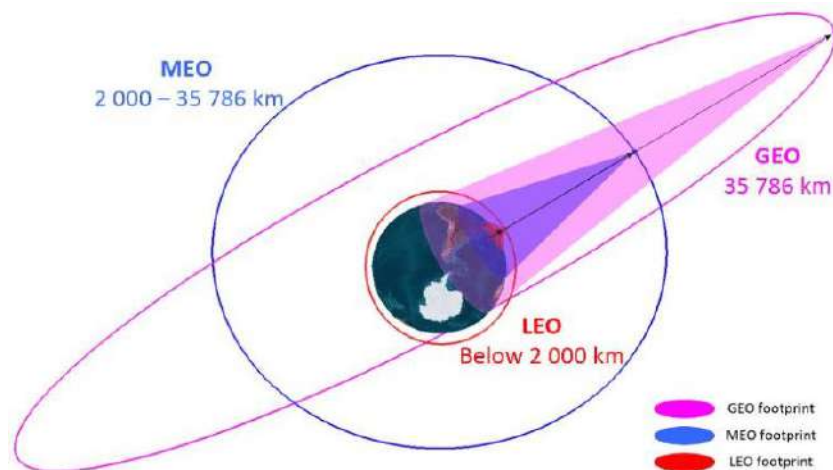
2.1 Comunicaciones Satelitales

Las comunicaciones satelitales se erigen como un componente esencial de las telecomunicaciones contemporáneas, fundamentándose en el empleo de satélites artificiales ubicados a diversas altitudes sobre la Tierra. Estos satélites actúan como repetidores o transmisores de señales, posibilitando la comunicación bidireccional entre puntos geográficamente distantes (Maini & Agrawal, 2011).

Al superar las limitaciones impuestas por la geografía terrestre, la elevación de las señales facilita significativamente su propagación. De esta manera, los satélites permiten sortear obstáculos naturales y brindar cobertura a extensas regiones, incluyendo aquellas de difícil acceso para las infraestructuras terrestres convencionales, utilizando equipos de bajo costo como antenas.

Figura 1.

Representación artística de las órbitas (LEO), (MEO) y (GEO) mencionadas.



En el contexto específico de este proyecto, un conjunto de satélites transmite información diversa, abarcando desde imágenes para la investigación climática hasta mediciones del campo magnético terrestre. No obstante, la altitud de sus órbitas varía considerablemente, lo que influye directamente en la funcionalidad y las aplicaciones de cada satélite (Ippolito, 2017).

En función de sus parámetros orbitales, se distinguen principalmente tres categorías de órbitas (Ippolito, 2017):

Órbita Terrestre Media (MEO): Caracterizada por altitudes que oscilan generalmente entre los 2.000 y los 35.786 kilómetros, siendo comúnmente utilizada por sistemas de navegación global como el GPS y Galileo.

Órbita Geoestacionaria (GEO): Situada a una altitud aproximada de 35.786 kilómetros directamente sobre el ecuador terrestre. Los satélites en esta órbita giran a la misma velocidad que la Tierra, aparentando estar fijos en el cielo y proporcionando una cobertura constante a una porción significativa del planeta, lo que la hace ideal para servicios de televisión y comunicaciones de banda ancha.

Órbita Terrestre Baja (LEO): Con un interés particular para este trabajo debido a sus características de altitud y las oportunidades de observación que ofrece, especialmente en el contexto de la red SatNOGS. Los satélites en LEO se desplazan en un rango de altitudes relativamente amplio, generalmente entre los 160 y los 2.000 kilómetros sobre la superficie terrestre (Ippolito, 2017). Esta proximidad a la Tierra implica varias consecuencias importantes: siguen trayectorias polares con velocidades elevadas, completando una órbita en aproximadamente 100 minutos, lo que les permite sobrevolar la misma posición geográfica varias veces al día.

La órbita terrestre baja (LEO) alberga una variedad de satélites dedicados a la teledetección y la investigación científica. Entre ellos, destacan los satélites operados por la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA), fundamentales para el monitoreo climático, la predicción del tiempo y el seguimiento de fenómenos naturales (National Environmental Satellite, Data, and Information Service, s.f.)

Un segmento importante de los satélites en LEO también lo constituyen los CubeSats. Estos son módulos de dimensiones estandarizadas, diseñados y desarrollados por instituciones

académicas y empresas a nivel global. Los CubeSats se utilizan para llevar a cabo experimentos científicos universitarios, probar nuevas tecnologías y realizar misiones educativas, transmitiendo frecuentemente telemetría y datos. Esto ha resultado en la existencia de numerosas constelaciones de pequeños satélites CubeSat que pueden ser observados (NASA, 2024).

El espectro radioeléctrico, un recurso natural finito de crucial importancia para las comunicaciones, se divide en distintas bandas de frecuencia. Estas bandas, definidas por rangos específicos de operación, son asignadas a nivel internacional y nacional para diversos servicios de radiocomunicación, incluyendo las comunicaciones satelitales y la radioafición. La IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) es una autoridad reconocida en la asignación de estas bandas, estableciendo un marco de referencia utilizado por organismos de control a nivel mundial (IEEE, 1984).

A modo de breve ilustración, existen bandas de comunicación terrestre como la banda de baja frecuencia (LF) y la banda de mediana frecuencia (MF), que abarcan el rango de 30 kHz a 3 MHz. La banda de alta frecuencia (HF), entre 3 MHz y 30 MHz, es conocida por su capacidad de propagación de larga distancia en la Tierra. Para las comunicaciones satelitales, y particularmente relevantes para este proyecto, se utilizan bandas específicas del espectro radioeléctrico ubicadas en las bandas de muy alta frecuencia (VHF), que comprenden el rango de 30 a 300 MHz, y de ultra alta frecuencia (UHF), entre 300 y 1000 MHz. Cada una de estas bandas presenta ventajas y desventajas inherentes a sus limitaciones físicas (Ippolito, 2017, 13)

En el contexto de la recepción de datos de satélites, especialmente aquellos en órbita terrestre baja (LEO) y de interés para la red SatNOGS, las frecuencias comprendidas entre 100 MHz y 400 MHz son particularmente relevantes (SatNOGS Wiki, s.f.). Estas frecuencias están marcadas por el organismo de autoridad responsable de la designación de frecuencias en el ámbito internacional: International Telecommunication Union (ITU), según la carta se recogen

frecuencias de uso amateur para la investigación o para el uso de satélites (International Telecommunication Unión, 2023).

Es fundamental también considerar el contexto de la organización del espectro a nivel nacional. La carta de designación, que detalla los rangos de frecuencia, está disponible públicamente en formato digital, lo que permite consultar los rangos de interés comprendidos entre las bandas VHF y UHF (Agencia Nacional del Espectro, 2023).

Estas bandas se utilizan principalmente para diversos servicios de comunicaciones, como la telefonía celular y la radionavegación. Sin embargo, dentro de los rangos comunes para enlaces de bajada satelital, se encuentra la frecuencia de 430 MHz, designada para uso libre, radioaficionados o en concordancia con la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT).

Tabla 1.

Designación del espectro electromagnético dentro de las bandas VHF y UHF para algunos satélites.

Designación frecuencias satelitales			
Designación IEEE	Rango de frecuencia (ITU)	Frecuencia	Satélite
VHF	137-143.6 MHz	137.6200 MHz	NOAA 15
	SPACE OPERATION (space-to-Earth)	137.9125 MHz	NOAA 18
	144-146 MHz	137.1000 MHz	NOAA 19
	AMATEUR-SATELLITE	145.8000 MHz	ISS
	pg 24-25	145.8700 MHz	CAS-4A/CAS-4B
		145.9600 MHz	Max Valier Sat
		137.4600 MHz	Orbcomm FM108

Designación frecuencias satelitales			
Designación IEEE	Rango de frecuencia (ITU)	Frecuencia	Satélite
		137.1000 MHz	METEOR M-2
UHF	401-402 MHz	435.1030 MHz	FalconSat3
	SPACE OPERATION (space-to-Earth)	435.3000 MHz	SpooQy-1
	432-438 MHz	437.2000 MHz	OPS-SAT
	Earth exploration-satellite (active)	437.5250 MHz	Armadillo
	pg 30	437.1250 MHz	LuSat
		401.4160 MHz	FacSat 2

Nota: Adaptado de la red satNOGS. A partir de los parámetros de la base de datos de satélites a través de <https://db.satnogs.org/> y frecuencias de operación (International Telecommunication Unión, 2023)

2.2 Radio Definida por Software

La Radio Definida por Software (SDR) representa una tecnología transformadora en el campo de los sistemas de radiocomunicación, impactando significativamente su diseño, implementación y utilización (Dillinger, Madani & Alonistioti, 2003). El ámbito de la ingeniería dedicado al estudio y diseño de circuitos para aplicaciones de radio es vasto y se encuentra en constante evolución, ahora gracias al uso de sistemas informáticos es posible utilizar programas poderosos (GNU Radio, s.f.).

Gracias a los avances tecnológicos en procesadores, los diseños actuales combinan el hardware esencial para la recepción de señales con sistemas digitales robustos para el procesamiento y envío de información. En contraste con los sistemas de radio tradicionales, donde

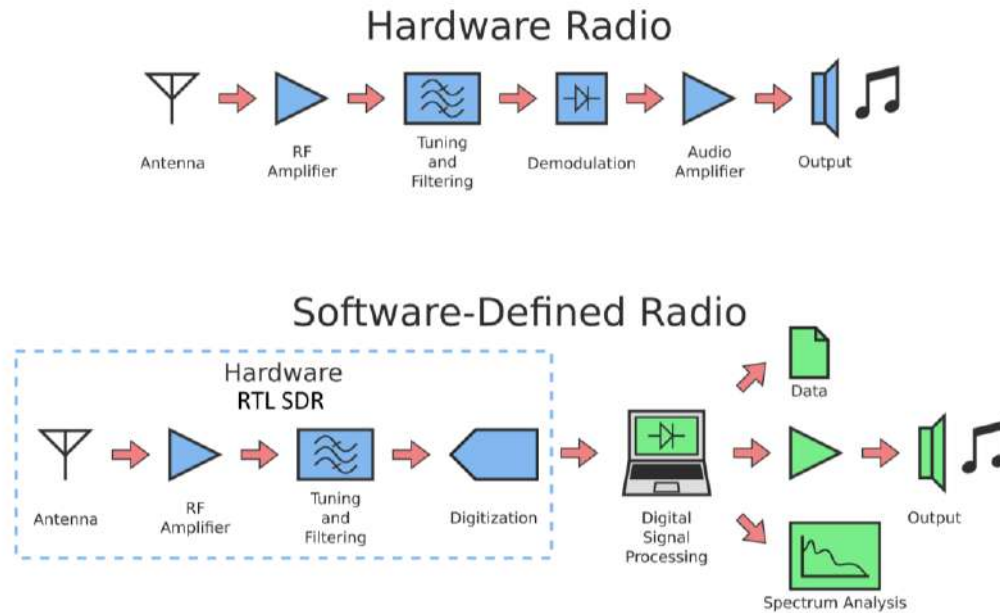
la modulación, demodulación, el filtrado y el procesamiento de señales se implementan principalmente a través de hardware específico, la SDR desplaza una porción considerable de estas funciones al ámbito del software (Dillinger et al., 2003).

En un sistema SDR típico, la señal de radiofrecuencia (RF) captada por la antena se convierte a una señal digital lo más cerca posible de la antena mediante un Convertidor Analógico a Digital (ADC). Posteriormente, todo el procesamiento de la señal, incluyendo la demodulación, el filtrado, la decodificación y la extracción de datos, se lleva a cabo mediante algoritmos de software ejecutados en un procesador, ya sea en un computador o en un sistema embebido (Dillinger et al., 2003). GNU Radio, por ejemplo, es un toolkit de desarrollo de software libre que proporciona bloques de procesamiento de señales para implementar sistemas SDR (GNU Radio, s.f.).

Un sistema SDR sencillo y típico se compone, en su entrada de señal, de una antena, encargada de capturar las ondas electromagnéticas del espacio. A continuación, se encuentra el front-end, una etapa que acondiciona la señal recibida a través de componentes como filtros para seleccionar la banda de interés y rechazar señales no deseadas, amplificadores para aumentar la intensidad de las señales débiles y mezcladores para realizar una conversión a frecuencias intermedias (Dillinger et al., 2003).

Figura 2.

Diagrama de las partes que componen un sistema de radio. Arriba, radio tradicional, abajo se tiene un sistema SDR.



En el contexto de la construcción de una estación terrena satelital con SatNOGS, la SDR desempeña un papel crucial al ofrecer la flexibilidad y la capacidad de adaptación necesarias para recibir y procesar las diversas señales transmitidas por los satélites. Los módulos SDR constituyen una plataforma excepcionalmente adaptable para la recepción y el procesamiento de las señales emitidas por satélites. Un módulo SDR puede conectarse a una máquina de manera sencilla a través de interfaces genéricas, usualmente USB (SatNOGS Wiki, s.f.).

En el mercado actual, existe una amplia variedad de soluciones SDR que abarcan diferentes rangos de precio, rendimiento y funcionalidades.

Haciendo énfasis en esto último se encuentra el módulo basado en el chip RTL2832U, el cual ha tenido un impacto significativo debido a la familia de dispositivos que implementan este chip, comúnmente conocidos como RTL-SDR (rtl-sdr.com, s.f.). se convirtieron en una solución popular para este tipo de aplicaciones.

La comunidad de desarrolladores descubrió que el chip RTL2832U también permitía acceder a los datos de banda base sin procesar, convirtiéndolos en receptores SDR increíblemente asequibles, desarrollando drivers y guías en internet fácilmente asequibles: específicamente en la documentación de SatNOGS se detalla el proceso y software usado (SatNOGS Wiki, s.f.).

Al escribir drivers de software personalizados, se hizo posible utilizar estos dispositivos USB de bajo costo como receptores de banda ancha, capaces de sintonizar un amplio rango de frecuencias, típicamente desde aproximadamente 24 MHz hasta 1.7 GHz, más que suficiente para los rangos típicos en 100 MHz o 400 MHz que se usan en este trabajo, estas especificaciones también listadas por el fabricante (rtl-sdr.com, s.f.).

2.3 La red SatNogs

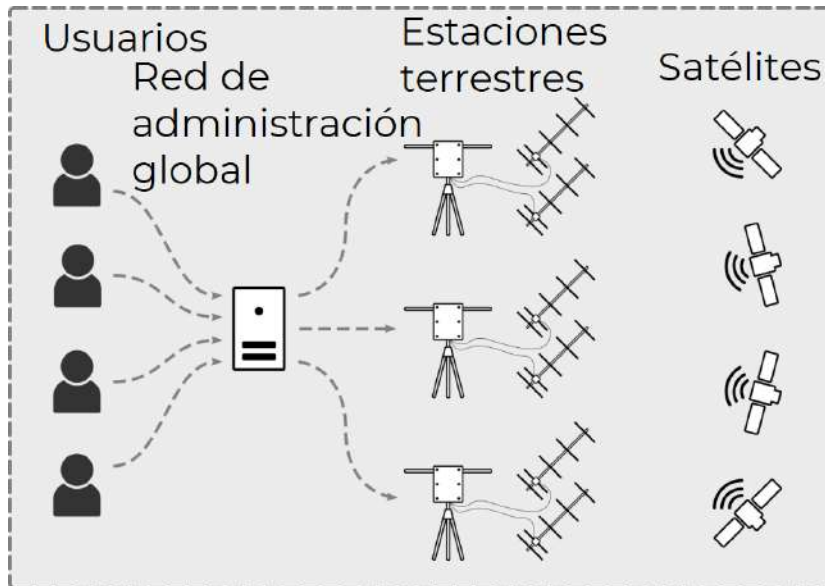
SatNOGS (Satellite Networked Open Ground Station) representa una iniciativa pionera y de gran impacto en el ámbito de la exploración espacial y las comunicaciones satelitales (Libre Space Foundation, s.f.). Concebida como una red global y distribuida de estaciones terrenas de código abierto, SatNOGS facilita la observación automatizada de una amplia variedad de satélites que orbitan nuestro planeta. Fundamentada en los principios de la colaboración abierta entre entusiastas, ingenieros, científicos y educadores a nivel mundial, esta red permite el acceso a datos transmitidos por los satélites, especialmente aquellos en órbita baja terrestre (LEO). Este acceso impulsa significativamente la investigación científica, fomenta la educación y promueve la divulgación en el campo de las telecomunicaciones espaciales (Libre Space Foundation, s.f.).

La arquitectura fundamental de SatNOGS se basa en la integración de diversos servicios ofrecidos por la Libre Space Foundation, una organización que provee un ecosistema de herramientas y recursos diseñados para simplificar la construcción, el acceso a la información, la

operación eficiente y la gestión colaborativa de las estaciones terrenas (Libre Space Foundation, s.f.).

Figura 3.

Esquema que ilustra la red de estaciones interconectadas y la interacción entre usuarios y la información.



La plataforma web de SatNOGS, conocida como SatNOGS Network, actúa como el punto central de interacción para los usuarios de la red (SatNOGS Network, s.f.). A través de esta interfaz, los usuarios pueden programar nuevas observaciones de satélites, visualizar los datos recolectados tanto por su propia estación como por otras estaciones de la red, y colaborar activamente con la comunidad SatNOGS. La interfaz web también proporciona herramientas esenciales para la gestión remota de la propia estación terrena, la visualización del estado de las observaciones en tiempo real y el acceso a datos históricos. Esta capacidad de operación remota elimina la necesidad de presencia física en la estación para muchas de sus funciones.

Uno de los componentes centrales es SatNOGS DB, una base de datos exhaustiva de satélites que alberga información detallada y actualizada sobre una amplia gama de satélites, tanto activos como inactivos. Para cada satélite, se proporciona información crucial para su observación,

incluyendo sus elementos orbitales de dos líneas (TLE) necesarios para el seguimiento predictivo, las frecuencias de transmisión utilizadas, los protocolos de comunicación empleados y otra documentación relevante (SatNOGS DB, s.f.). Esta base de datos resulta fundamental para que los usuarios puedan seleccionar los satélites de su interés y configurar sus observaciones de manera precisa y ampliamente automatizada.

La operación autónoma de cada estación terrena SatNOGS se logra mediante un software cliente especializado, diseñado para ejecutarse en equipos de bajo consumo energético como Raspberry Pi. Este software automatiza el seguimiento predictivo de satélites, basado en sus TLEs, y la activación precisa de los periféricos de recepción durante los momentos de paso visible. Esta automatización reduce significativamente la necesidad de intervención manual, optimizando la recepción de datos, especialmente en estaciones estáticas (SatNOGS Wiki, s.f.).

Este modelo colaborativo de compartir recursos computacionales, tiempo de observación y datos recolectados incrementa sustancialmente la capacidad de observación colectiva, permitiendo un seguimiento más continuo, la recopilación de datos desde múltiples ubicaciones y la creación de archivos de datos robustos para la investigación y la divulgación científica (SatNOGS Wiki, s.f.).

2.4 Proyecto Anterior

En el año 2020, los estudiantes Carreño y Díaz de la Universidad Industrial de Santander (UIS) culminaron su trabajo de grado con el desarrollo del proyecto "Modelo funcional de una unidad terrena basado en radio definida por software para comunicaciones satelitales en la banda UHF" (L. M & E. F, 2020). Este proyecto representó una hito en Colombia para la red SATNOGS, ya que fue la primera estación terrena inscrita y construida en Colombia. académica en el campo de las telecomunicaciones para la universidad, también estableció una base y conocimiento previo para el desarrollo de la estación terrena que se describe en el presente documento.

La investigación de Carreño y Díaz se centró en la implementación de una estación terrena operativa, para lo cual contaron con los siguientes componentes, que ahora se presentan como recursos reutilizables: Se dispuso de una antena helicoidal, estratégicamente seleccionadas por su directividad y ganancia en la banda de frecuencias UHF y VHF.

Un componente fundamental de ese proyecto fue la implementación de un sistema de seguimiento automático y preciso de satélites con sistema de control basado en un microcontrolador en una plataforma de desarrollo arduino. Ofrece una plataforma inicial de hardware y software, pero actualmente está en desuso, debido a que se optó por una solución estática y permanente en las instalaciones de la universidad para este nuevo proyecto.

Tras su entrega, los equipos desarrollados en el proyecto de Carreño y Díaz fueron lamentablemente abandonados y cayeron en desuso. Sin embargo, esta situación se convirtió en una motivación. El presente trabajo surge precisamente de la necesidad de revitalizar y expandir las capacidades iniciales de la estación terrena UHF, aprovechando la inversión previa en hardware y el conocimiento generado en la investigación de 2020.

La conexión entre aquel proyecto y el actual está en la intención de utilizar los equipos y la experiencia adquirida en el trabajo del 2020 como punto de partida concreto para la construcción y operación de una mejorada estación terrena. En lugar de comenzar desde cero, el presente trabajo busca evaluar, reacondicionar y mejorar para alcanzar los objetivos definidos en este nuevo desarrollo. De esta manera, se busca optimizar recursos, acelerar el proceso de implementación y construir sobre una base tecnológica ya establecida.

2.5 Satélites en Colombia

En el contexto de la creciente innovación tecnológica en Colombia, resulta relevante destacar los avances del país en el desarrollo y lanzamiento de satélites al espacio. Hasta la fecha

de finalización de este proyecto, Colombia ha puesto en órbita tres satélites (Space Generation Advisory Council, s.f.).

El primero, Libertad 1, fue lanzado el 17 de abril de 2007. Este CubeSat, diseñado y construido por la Universidad Sergio Arboleda (Portilla, 2023), operaba a una altitud de 800 kilómetros con una frecuencia de bajada de 437.405 MHz. Aunque fue el primer satélite colombiano, actualmente se encuentra inactivo (Universidad Sergio Arboleda, s.f.).

El segundo satélite, FacSat 1, lanzado el 28 de noviembre de 2018 por la Fuerza Aérea Colombiana (FAC), también fue un CubeSat. Su misión principal era la obtención de imágenes de la superficie terrestre colombiana, operando a una altitud de 474 kilómetros con una frecuencia de bajada de 437.350 MHz. Sin embargo, FacSat 1 reentró en la atmósfera y ya no está operativo (Fuerza Aérea Colombiana, s.f.).

Finalmente, se encuentra FacSat 2, la continuación del proyecto aeroespacial de la ahora Fuerza Aeroespacial Colombiana. Con la misma misión de su predecesor – la obtención de imágenes del territorio colombiano para su análisis – FacSat 2 fue lanzado en abril de 2023. Este CubeSat opera a una altitud de 400 kilómetros con una frecuencia de bajada de 401.4160 MHz y, a la fecha de este documento, se encuentra en operación (Fuerza Aeroespacial Colombiana, s.f.).

Es importante destacar que FacSat 2 es observable a través de la red SatNOGS. Con la configuración y el equipo adecuados, es posible recibir información desde su enlace (SatNOGS DB, s.f.).

3. Metodología

En el corazón de este proyecto reside una herramienta valiosa y transformadora para la comunidad universitaria: una estación terrena funcional. Este capítulo desglosa la metodología

detrás de su creación, desde la concepción hasta su implementación. Es un relato secuencial del trabajo, los desafíos y los logros documentados y cómo esta infraestructura única abre nuevas puertas para la exploración y la experimentación en el ámbito crucial de las comunicaciones satelitales.

Inicialmente, se aborda la implementación y montaje de una estación terrena funcional en las instalaciones universitarias. Este proceso iterativo, que involucró pruebas exhaustivas para superar limitaciones de hardware y ubicación, comprendió la selección, adquisición e integración de componentes preexistentes, culminando en la verificación con diversos instrumentos.

En segundo lugar, se detalla la creación de una plataforma web integral, un recurso informático crucial para la difusión de información sobre telecomunicaciones y las capacidades de la estación terrena desarrollada. El proceso incluyó el diseño conceptual y estructural de la interfaz y navegación, priorizando una experiencia de usuario intuitiva y atractiva, finalizando con la publicación en un servicio de hosting.

Finalmente, se presenta la elaboración de una guía y documentación escrita para la construcción de una estación terrena similar a la desarrollada en este proyecto. Esta guía, destinada a estudiantes de programas de electrónica y telecomunicaciones, junto con la documentación de manejo, mantenimiento y disposición de la estación terrena, busca su difusión y aplicación en el ámbito académico.

3.1 Implementación de un modelo funcional de estación terrena

Este proyecto se fundamenta en el trabajo de grado "Modelo funcional de una unidad terrena basado en radio definida por software para comunicaciones satelitales en la banda UHF" (Carreño y Díaz, 2020, Universidad Industrial de Santander), cuyo equipo de seguimiento (Arduino, sistema de engranajes y sistema embebido con satNOGS) quedó en desuso.

Figura 4.

Estación terrena entregada y utilizada en el trabajo referencia, 2020



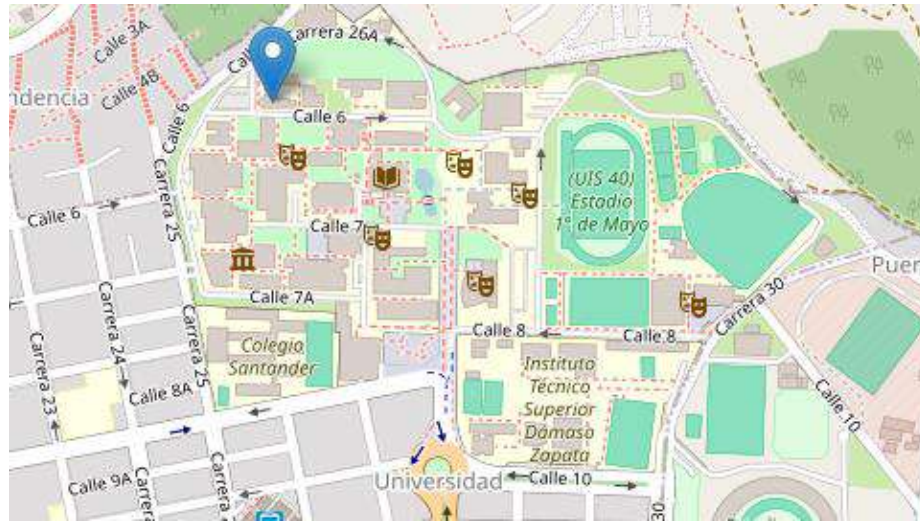
La primera etapa consistió en la recuperación y selección de equipos existentes: una Raspberry Pi 3 B+, un RTL-SDR USB, una fuente de poder de 5V/10A y una antena helicoidal. Se excluyó el equipo de seguimiento original debido a que el diseño actual busca una implementación fija y de fácil mantenimiento para asegurar su durabilidad.

El desarrollo del proyecto se vio favorecido por la disponibilidad de las instalaciones de la Escuela E3T y, particularmente, del Laboratorio de Alta Tensión. Este laboratorio proporcionó los recursos técnicos y un espacio estratégico para la demostración del proyecto a estudiantes, promoviendo el interés en telecomunicaciones. Por lo tanto, aquí se centró en la ubicación estratégica de la estación terrena junto a una ventana en el laboratorio 208. Esta ubicación prioriza el acceso a la red, conexiones de antenas externas y alimentación eléctrica. La Raspberry Pi 3 B+

se integró a la red del laboratorio mediante una conexión Ethernet de alta velocidad y se protegió dentro de una caja hermética.

Figura 5.

Captura de pantalla con un marcador mostrando la ubicación de la estación en el campus universitario.



Tras seleccionar la ubicación y asegurar el acceso a la red eléctrica, se implementó el diseño del sistema dentro de una caja hermética, optimizando el espacio y la disposición de los componentes para facilitar la conexión de cables y el acceso a los puertos. Se realizaron modificaciones en la caja para el paso seguro de cables (potencia, Ethernet y coaxial) manteniendo la certificación IP68 mediante la instalación de prensaestopas y acoples externos con uniones disponibles.

Internamente, la base metálica de la caja se adaptó para el montaje seguro de los componentes. El módulo RTL-SDR se fijó con bridas para asegurar la disipación térmica y su correcta posición, mientras que la placa embebida y una toma eléctrica se instalaron con tornillos y tuercas.

Inicialmente, la Raspberry Pi se alimentó con una fuente básica de 5V/10A (micro USB), la cual resultó insuficiente debido a las limitaciones de ventilación y disipación dentro de la caja,

provocando su fallo. Para solucionar este problema, se reemplazó la fuente por una con mayor capacidad y mejor disipación, adecuada para la demanda energética del sistema mejorado. Este cambio se basó en un cálculo de potencia que consideró el consumo máximo de todos los equipos conectados, detallado en una tabla.

Tabla 2.

Balance de potencia de los dispositivos del proyecto.

Dispositivo	Corriente [A]	Voltaje [V]	Potencia [W]
Raspberry Pi 3 B+	2.50	5	12.5
RTL-SDR 2832U	0.28	5	1.4
Ventiladores disipador	0.6	5	3
Total			16.9

Dado un consumo total estimado de 16.9W, se optó por una fuente conmutada industrial robusta y asequible, adquirida en localmente, para asegurar la operación continua de la estación.

Se reacondiciona la base metálica de la caja para su montaje con tornillos, y se ajusta su salida a 5.13V DC mediante un potenciómetro y un voltímetro. Esta fuente industrial, con una salida superior a 5V y una corriente máxima de 10A, suministra energía estable a la Raspberry Pi, el RTL-SDR y otros dispositivos USB conectados.

Con la estación instalada a nivel de hardware, el siguiente paso se centró en la instalación y configuración del software necesario para la gestión de observaciones satelitales, la comunicación con periféricos y el ajuste de parámetros específicos para cada satélite. Este software se basa en la información descargada de la base de datos de satNOGS, automatizando gran parte del proceso. Para la configuración, se instaló la imagen del sistema y se recuperó la cuenta de la UIS en satNOGS (ID 810), la cual identifica a esta estación como la única en Bucaramanga y una de las pocas en Colombia.

A pesar de los cambios en el método de instalación de SatNOGS, se empleó una imagen preconfigurada con el script de SatNOGS Client, servidor SSH y paquetes necesarios, permitiendo el acceso remoto a través de cualquier computador conectado a la red local del laboratorio. La Raspberry Pi cumple con los requisitos de software mínimos para ejecutar el software SatNOGS client, según el fabricante en la página de las especificaciones oficiales (Raspberry Pi Foundation, s.f.). Se configuró el SatNOGS Client con las credenciales preexistentes (ID 810) para integrar en la red satNOGS como la estación única en Bucaramanga.

La configuración incluye los parámetros de la capa de radio frecuencia (ganancia del receptor, frecuencia de muestreo, frecuencia de recepción), la ubicación de la estación (latitud y longitud) y clave de la API.

Las pruebas iniciales revelaron problemas de recepción de imágenes debido al uso de una antena en el techo del laboratorio, inadecuada para las frecuencias objetivo, lo que resultó en datos perdidos y observaciones vacías.

Para solucionar esto, se utilizó la antena helicoidal recuperada, instalándose de forma estática sobre un trípode adaptado en los talleres de la universidad. Esta antena, diseñada para el rango de 400-430 MHz ver figura 6, (verificación realizada con un analizador vectorial de redes del laboratorio ZVL6), se adecuaba a las frecuencias de numerosos satélites rastreados por satNOGS.

Figura 6.

Montaje de antena Helicoidal en el campo.



La verificación de las observaciones y el ajuste de la antena se realizaron en múltiples sesiones, utilizando instrumentos del laboratorio para analizar el espectro de frecuencias y compararlo con los datos de satNOGS. Inicialmente, se encontraron dificultades debido al bloqueo de señales por la estructura del laboratorio, a pesar de la ganancia previamente comprobada.

Para investigar esto, se realizaron mediciones de campo en ubicaciones elevadas fuera del campus. Se trasladó el equipo a un edificio residencial, donde se conectó la antena a un computador con el software CubicSDR, un software que cumple la funcionalidad del analizador de espectro (CubicSDR, s.f.), para intentar captar señales satelitales sin éxito. Se verificó el funcionamiento

del software y el RTL-SDR utilizando señales de radio locales como referencia. Posteriormente, se probó el RTL-SDR directamente con la antena y un cable más corto para descartar problemas con la estación, también sin resultados positivos.

Figura 7.

Fotografía de un analizador de espectros en el laboratorio, cursor ubicado alrededor de 400 MHz.



De vuelta en el laboratorio, se continuaron las pruebas con una antena Yagi sintonizada para 400-430 MHz, apuntando manualmente hacia la ubicación estimada de los satélites, y con un analizador de espectros portátil y una antena direccional, sin lograr una recepción adecuada.

Finalmente, se propuso utilizar un amplificador de bajo ruido (LNA) para intentar superar el ruido ambiental y explorar las bandas alrededor de 100 MHz. Esta estrategia, combinada con la reutilización de la antena del techo del laboratorio (Adecuada para 100 MHz y con mayor ganancia), resultó exitosa. Ajustando la ganancia del RTL-SDR a 20dB y añadiendo otros 20dB con el LNA, se lograron recibir señales de satélites meteorológicos como NOAA 18 y NOAA 15, obteniendo gráficos de datos válidos. La ganancia del RTL-SDR se configuró remotamente a través de SSH.

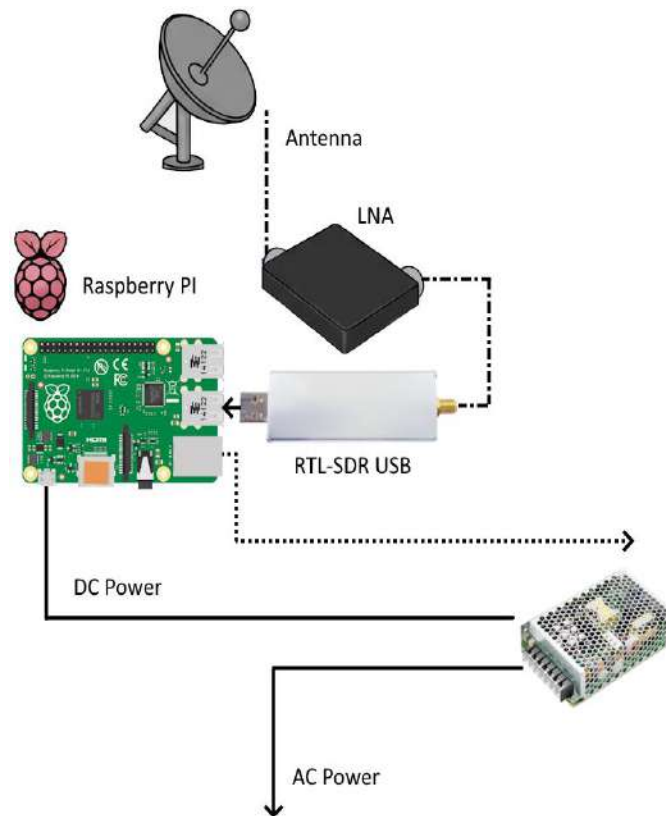
La solución reveló una combinación de factores que afectan la recepción: baja potencia de las señales satelitales, ganancia insuficiente y, potencialmente, saturación del sistema por un ajuste de ganancia excesiva en la configuración del RTL-SDR.

Tras la identificación de la solución para la recepción de señales, se adaptó la base metálica de la caja para integrar los componentes en un diseño final que incluyó: una toma eléctrica, la fuente conmutada, el módulo RTL-SDR USB, el módulo LNA con su respectiva fuente de alimentación, cableado adicional y las uniones necesarias.

En conclusión, se implementó una estación terrena satelital funcional en el laboratorio 208 del edificio de alta tensión. Esta estación, conectada a internet, permite programar observaciones de una amplia gama de satélites que transmiten en frecuencias alrededor de los 100 MHz. El equipo se encuentra protegido dentro de una caja hermética, con una organización interna optimizada para el uso eficiente del espacio disponible.

Figura 8.

Diseño conceptual de la estación terrena, mostrando las partes clave. Acceso a internet y potencia se dan en el sitio de montaje.

**3.2 Creación de una plataforma web interactiva**

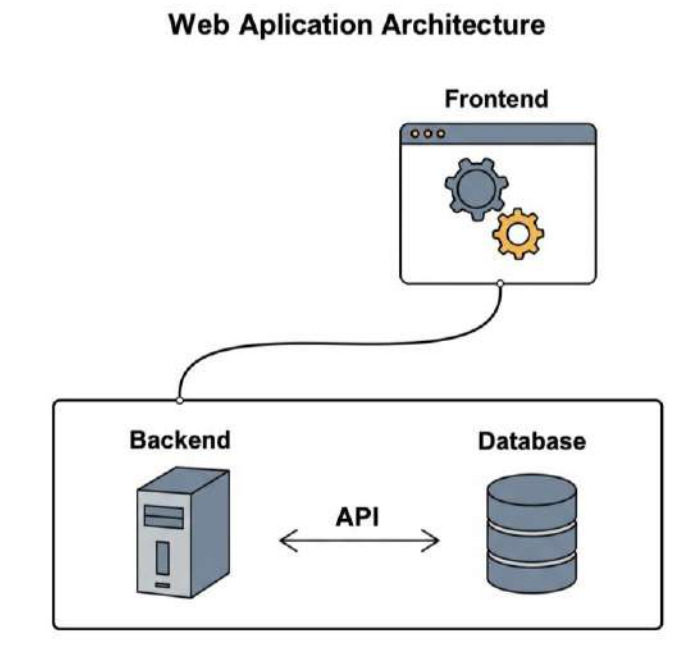
La divulgación efectiva de los datos y el conocimiento generado por la estación terrena SatNOGS requiere de una herramienta que sea tanto informativa como atractiva para la comunidad universitaria y el público general. Con este fin, se planeó y desarrolló una plataforma web interactiva, enfocada en la usabilidad, la claridad de la información y una experiencia de usuario moderna. Desde el inicio, se optó por una arquitectura desacoplada, dividiendo el sistema en dos componentes principales: un frontend y un backend, cuya interacción y diseño se detallan a continuación.

El backend se implementó como una función ‘serverless’¹ utilizando un proveedor llamado ‘Netlify Functions’. Estas funciones fueron escritas en Node.js, realizando peticiones a las APIs externas de SatNOGS. La elección de una arquitectura ‘serverless’ se hizo con el enfoque a un desarrollo de una solución rápida y práctica, sin necesidad de adquirir un servicio completo de servidor backend.

Por lo tanto, la única tarea del backend es actuar como un servidor proxy o un intermediario entre el frontend y las APIs de SatNOGS, de esta manera el backend recibe las solicitudes de datos del frontend, procesa la solicitud, extrae los parámetros necesarios, luego construye la ruta específica para ser redirigida a SatNOGS y finalmente recibir varios datos desde SatNOGS Network o SatNOGS DB.

Figura 9.

Resumen diseño programación de la página en diagrama de flujo



¹ Serverless es un término en inglés, para referirse a un modelo de ejecución en la nube donde el proveedor de servicios incluye y maneja los servidores, permitiendo a los desarrolladores enfocarse en escribir y desplegar código sin preocuparse por desarrollar infraestructura compleja.

Esto demostró ser una solución práctica de desarrollar, facilitando la obtención de datos en tiempo real para el frontend y asegurando una arquitectura desacoplada. Con este diseño se solucionan varios problemas, entre el más importante el desafío CORS. Esto es fundamental porque la política de seguridad del navegador impediría que el frontend, alojado en un dominio diferente al de satNOGS realice solicitudes directas. Por lo tanto, el backend configura cabeceras necesarias para permitir la comunicación correcta.

Ahora para el otro componente de la arquitectura; el frontend se concibió también de manera modular, dividiéndolo en múltiples componentes interconectados. Se implementó un sistema de enrutamiento para ofrecer una experiencia de Aplicación de Página Única.²

Un aspecto a destacar desde las etapas tempranas del diseño ha sido garantizar una experiencia de usuario adaptable y dinámica con un sitio web responsivo y en múltiples lenguajes. Para ello, se integraron herramientas de internacionalización. Esto permite a la plataforma presentar contenido en múltiples idiomas, por ahora solo inglés y español, ampliando significativamente su alcance y accesibilidad a una audiencia más amplia y el fuerte énfasis en el diseño responsivo se hace mediante la inclusión de herramientas de estilo de página CSS para adaptarse fluidamente a diferentes tamaños de pantalla ya sea en un computador o en un teléfono.

Por el lado de los componentes, se centró en presentar contenido útil, relevante e interesante para el usuario. Como resultado, se definen varios componentes principales, cada uno accesible a través de una ruta específica y mostrando información.

² Técnica de diseño web donde toda la información de un sitio se presenta en una sola página, en lugar de varias, sin necesidad de recargar la página.

Figura 10.

Esqueleto o 'Mock Up' básico de página de inicio a la izquierda y página de observaciones a la derecha.



El proceso de diseño de cada componente fue iterativo, apoyado por un servidor de desarrollo local que permitía visualizar los cambios en tiempo real. Se utilizaron herramientas de prototipado rápido o 'Mock Up'³ para definir la disposición de los elementos, la estructura visual y la interacción general dentro de cada componente del frontend antes de la implementación final, a continuación se describen los componentes de la página web única.

El componente de inicio fue el primero en ser diseñado y desarrollado, creado como una presentación de la plataforma. Es la primera vista que el usuario encuentra al ingresar a la página web. Su contenido incluye un título principal y una breve descripción del proyecto. Este componente actúa, más que todo, como una manera de enseñar el contenido de la plataforma e invitar al usuario a visitar más partes y enlaces.

³ Un "mockup" o maqueta es una representación visual de un diseño final, que muestra cómo se verá, incluso si no es funcional.

Siendo una página de inicio se decidió añadir contenido llamativo primero mostrando un título y una breve descripción, justo debajo se coloca un carrusel de imágenes con gif animados. Después una serie de tarjetas con enlaces y botones que guían al resto de la página. Esto se puede observar en la figura 10, a la izquierda se presenta la posición del contenido y cómo se estructuró desde un principio.

El componente de recursos fue pensado como un centro de información y enlaces externos, este componente agrupa enlaces a documentación oficial de SatNOGS, tutoriales, software relevante, se incluyeron enlaces a sitios importantes como NASA y sitios de SDR y otros materiales educativos que pueden ser de utilidad tanto para usuarios nuevos como para aquellos dentro del ámbito académico. El orden y estructura de la página se presenta de una forma similar al anterior componente, debido a que se presenta información que no está sujeta a cambio por código.

Figura 11.

Esqueleto o 'Mock Up' básico de página de recursos a la izquierda y página 404 a la derecha.



También es muy importante mostrar de manera dinámica e interactiva el trabajo realizado en el primer objetivo de este trabajo. La sección de estación terrena se dedica a mostrar información específica sobre la estación número 810. Presenta detalles sobre su ubicación, el hardware que la compone, su estado actual de operatividad y datos sobre su rendimiento y las

próximas pasadas de satélites visibles. Esta información es leída desde la red satNOGS pero se presenta con una estructura llamativa, usando una gráfica y una tarjeta dinámica. Además, a esto, se le une el componente de observaciones, este componente muestra un listado dinámico de las observaciones satelitales realizadas por la estación usando una vez más tarjetas. Cada entrada detalla el satélite observado, la hora de la pasada, el estado de la observación y enlaces directos a la observación. Otro componente más de la plataforma es la visualización de datos; Este componente presenta las imágenes satelitales, como, por ejemplo, imágenes APT de satélites meteorológicos NOAA. Se busca ofrecer una galería atractiva y de fácil navegación de los resultados visuales capturados por la estación y otras estaciones. Esta serie de componentes muestran contenido desde satNOGS, por lo que se pensó en un mejor diseño que permitiera acomodar tarjetas en cuadrículas o grillas a medida que se encuentra la información, así se presenta en la figura 10 a la derecha. Se diseñó una tarjeta y estilo que permita cargar información correspondiente a satélites u observaciones y luego se aplicó a esta serie de componentes. Por último, se dedicó un componente que ofrece un catálogo o explorador de satélites. Permite al usuario visualizar información detallada de una lista interesante de satélites, como su ID NORAD, país de origen, misión, estado operativo y parámetros orbitales. Se da un énfasis especial a los satélites de interés local, los satélites colombianos.

Figura 12.

Esqueleto o 'Mock Up' básico de página 'Acerca de' a la izquierda y página de privacidad a la derecha.



Adicionalmente, se crearon componentes para páginas estándar que, aunque de menor importancia en cuanto a la visualización de datos, son esenciales para la presentación y transparencia de la plataforma, a continuación, se presentan:

Un componente **'Acerca de'** que proporciona información sobre el proyecto, sus objetivos, y un enlace al repositorio del código fuente de la página. En segundo lugar, se tiene un componente de contacto que ofrece vías para que los usuarios puedan comunicarse con la con los autores del trabajo, la universidad y la escuela de electrónica. En tercer lugar, un componente de Política de Privacidad, donde se detalla cómo se manejan ciertos aspectos en la página, ya que no se usan datos ni se recolectan, el esquema básico se puede ver en la figura 12.

Por último, la plataforma web desarrollada representa una solución integral y moderna para la divulgación de datos satelitales. A través de una arquitectura desacoplada con un backend práctico y un frontend interactivo y responsivo, se ha logrado crear una herramienta valiosa para la comunidad. Esta plataforma no solo facilita el acceso a información compleja de manera simplificada, sino que también busca promover el interés y la exploración en el campo de la

tecnología satelital. El resultado final de este esfuerzo es una plataforma funcional y accesible, disponible públicamente para su consulta y uso en <https://uis-station.onrender.com>.

3.3 Elaboración de una guía y documentación

En la era de la información accesible y del internet en la palma de la mano, la capacidad de interactuar directamente con satélites en órbita representa un tema apasionante que puede parecer difícil de alcanzar. Esta guía presenta paso a paso una forma de enfrentar ese desafío.

Este capítulo habla de la arquitectura y el proceso de construcción de una estación terrena de comunicaciones satelitales basada en radio definida por software, un proyecto creado para integrarse con la red global satNOGS; una guía detallada y secuencial, se presenta un flujograma y una lista de pasos detallados para que entusiastas, investigadores y educadores puedan replicar, los pasos se detallan a continuación:

1. La adquisición de componentes esenciales: Antes de iniciar el ensamblaje, es necesario conseguir todos los materiales necesarios. Una Raspberry Pi 3 B+, recomendada por su equilibrio entre rendimiento y costo para esta aplicación específica. Un dispositivo RTL-SDR compatible con satNOGS, sugiriéndose el modelo RTL-SDR V.3 (RTL-SDR Blog, s.f.) por sus especificaciones técnicas adecuadas para la recepción de señales satelitales. Una fuente de alimentación conmutada de 5V y 10A para garantizar la estabilidad operativa del sistema y evitar sobrecargas por exceso de potencia. Una antena, cuya elección dependerá de los requerimientos del proyecto y el espacio disponible. Los cables necesarios para la interconexión: un cable Ethernet para la red, un cable coaxial para la antena y el cable de alimentación y opcionalmente, una caja hermética con clasificación IP65 para la protección contra condiciones ambientales.

Figura 13.

Resumen diseño programación de la página en diagrama de flujo



2. Preparación de la placa Raspberry Pi con un sistema operativo. Aquí se puede acceder a la imagen del sistema operativo recomendada para Raspberry Pi desde la página oficial de la Raspberry Pi Foundation (Raspberry Pi Foundation, s.f.). Grabar la imagen en una tarjeta microSD utilizando la herramienta Raspberry Pi Imager; y finalmente insertar la tarjeta microSD en la ranura correspondiente de la Raspberry. La instalación del Software.

3. Instalación del cliente satNOGS: con el sistema operativo listo, se procede a la instalación del software específico para la comunicación con la red satNOGS: Conectar la Raspberry Pi a la red mediante el cable Ethernet y encender el dispositivo. Después de esto se puede acceder a la terminal de la Raspberry Pi a través de SSH o conectando directamente un monitor y teclado El comando para la conexión SSH es: “ssh [usuario]@[dirección IP]” y el siguiente comando a ejecutar es: “curl -sL https://satno.gs/install | sh -s -”

4. Configuración del software de la estación: Una vez instalado el software cliente, es crucial ajustar la configuración para que la estación opere correctamente dentro de la red satNOGS:

- Selección del Hardware: Especificar en la interfaz de configuración el tipo de antena y el modelo de receptor RTL-SDR que se han conectado físicamente al sistema.

- Configuración de la Ubicación Geográfica: Ingresar la latitud, longitud y altitud exactas de la ubicación donde se instalará la estación. Esta información es vital para la correcta programación de las observaciones y puede obtenerse mediante servicios de mapas en línea.

- Definición del Modo de Operación: Establecer el modo de operación en "Solo recepción", dado que el objetivo principal de esta guía es la recepción de señales satelitales.

- Ajuste de la Ganancia del RTL-SDR: Configurar la ganancia inicial del receptor RTL-SDR. En ausencia de un amplificador de bajo ruido (LNA), se recomienda comenzar con un valor de ganancia alto. Este parámetro podrá ajustarse posteriormente para optimizar la calidad de la recepción.

Después de esto se debe guardar todas las configuraciones realizadas y reiniciar la Raspberry Pi para que los cambios se apliquen de manera efectiva.

5. **Conexión Física de los Componentes:** Con el software configurado, el siguiente paso es interconectar físicamente los diferentes elementos de la estación: Esto incluye las conexiones desde la antena al módulo RTL-SDR a través de cables coaxiales.

6. **Acceso a la interfaz de control de la estación:** Una vez que los componentes están conectados, se puede acceder a la interfaz web para gestionar la estación, esto se puede hacer accediendo a la Interfaz Web de satNOGS desde cualquier navegador web (Libre Space Foundation, s.f.). A través de esta interfaz web, se podrán programar las observaciones de satélites, visualizar los datos recibidos y modificar la configuración de la estación de forma remota.

7. Una vez alcanzada esta parte, se pueden hacer pruebas y ajustes. Una vez completada la instalación y configuración, es esencial llevar a cabo pruebas exhaustivas y realizar los ajustes necesarios para garantizar la correcta recepción de las señales satelitales

La programación de observaciones se hace a través de la interfaz web de satNOGS para programar algunas observaciones de satélites conocidos y verificar si la estación está recibiendo datos. Adicionalmente se puede monitorear la calidad de las señales recibidas y ajustar la ganancia del receptor RTL-SDR según sea necesario. Una ganancia demasiado baja puede resultar en la pérdida de señales débiles, mientras que una ganancia excesiva puede saturar la señal recibida.

4. Conclusiones

El desarrollo e implementación del objetivo general ha permitido abordar la problemática inicial planteada, proporcionando una solución para suplir una estación terrena satelital para el campus universitario y una herramienta de divulgación científica, por lo cual, a lo largo de este proyecto se lograron cumplir los objetivos específicos propuestos.

En primer lugar, se implementó un modelo funcional de una estación terrena basada en radio definida por software, esto permitió crear una plataforma de observación de satélites a través de dispositivos instalados permanentemente en las instalaciones de la universidad y con software basado en la red SatNOGS. Esto soluciona satisfactoriamente la carencia de este equipo, ya que debido a los antecedentes con los que se partieron en este proyecto, no se contaba con una estación terrena.

Se diseñó y montó un equipo funcional en el que se tomó en cuenta las limitaciones en cuanto a potencia del sensor de señales y tipo de antenas disponibles para maximizar la captación de observaciones y la calidad de estas.

Se captaron una gran cantidad de observaciones para el proceso iterativo de comprobar el funcionamiento del equipo y correcta configuración.

Se comprobaron las características eléctricas del sistema: antena y cable usando un analizador de redes proporcionado por el laboratorio.

Se crearon una gran cantidad de observaciones la cual se puede acceder desde la plataforma web de satNOGS o a través de la plataforma web desarrollada.

Después siguiendo con los objetivos específicos, se centró en desarrollar y concretar la implementación de una plataforma web interactiva de acceso público para difundir información y

observaciones. Esta etapa creó una herramienta muy valiosa para la difusión de la información acerca de las telecomunicaciones en el ámbito de las observaciones satelitales, y la difusión de recursos útiles para un público en general: sin o con conocimiento del tema.

Se implementó una aplicación web mediante el uso de herramientas de desarrollo web: HTML, javascript y CSS.

Se desarrolló e implementó un componente frontend que permite al usuario ver el contenido de la aplicación web, mediante el uso de elementos interactivos, como carrusel de imágenes, colores llamativos, botones y títulos móviles y con un diseño responsivo para diferentes dispositivos.

Se desarrolló e implementó un componente backend compacto mediante servicios “serverless” que soluciona satisfactoriamente la limitación “cors”.

En lo que refiere a sortear las limitaciones

Se implementó mediante código en javascript funcionalidades para hacer búsquedas y visualizar imágenes satelitales a través de la aplicación web usando bases de datos de satNOGS.

Se desplegó la aplicación web usando un proveedor de servicios web hosting para subir una página web a disposición del público con funcionalidades de búsqueda observaciones, visualización de información relevante y visualización de observaciones e información de satélites.

Finalmente, se cumplió con el tercer objetivo propuesto, referente a elaborar una guía que facilite la replicación del proyecto, usando elementos llamativos y claros.

Se elaboró una guía detallando los pasos a seguir que se utilizaron para construir la estación terrena satelital.

Se dibujó y creó un diagrama que ilustra de manera llamativa y abreviada los pasos a seguir.

Se anotaron sugerencias para sortear algunos problemas que se encontraron al momento de configurar la estación.

Como último para esta sección, se cumplieron los objetivos propuestos para el proyecto. El objetivo general, dándole a la universidad herramientas valiosas para continuar con la investigación en el campo de las telecomunicaciones como ámbito específico la temática referente a observaciones satelitales.

Referencias

- Agencia Nacional del Espectro. (2023). *Espectro Visible*. Retrieved 2025, https://portalespectro.ane.gov.co/Style%20Library/ane_master/cnabf-tecnico.aspx
- CubicSDR. (s.f.). CubicSDR. *Cross-Platform and Open-Source Software Defined Radio Application*. Retrieved April 22, 2025, from <https://cubicsdr.com/>
- Dillinger, M., Madani, K., & Alonistioti, N. (2003). *Software Defined Radio: Architectures, Systems and Functions* (M. Dillinger, K. Madani, & N. Alonistioti, Eds.). Wiley.
- Freeman, R. L. (2007). *Radio System Design for Telecommunications*. Wiley.
- Fuerza Aérea Colombiana. (s.f.). *FACSAT1*. <https://facsat1-fuerzaaereacol.hub.arcgis.com/>
- Fuerza Aeroespacial Colombiana. (s.f.). *Facsat - 2*. <https://poderespacial.fac.mil.co/facsat-2>
- IEEE. (1984). IEEE Standard Letter Designations for Radar-Frequency Bands. *IEEE Std 521-1984*, 1-8. 10.1109/IEEESTD.1984.81588
- International Telecommunication Union. (2023). *Frequency Allocations* (2021st ed.). https://www.ntia.gov/sites/default/files/2023-11/4_2021_edition_rev_2023.pdf
- Ippolito, L. J. (2017). *Satellite Communications Systems Engineering: Atmospheric Effects, Satellite Link Design and System Performance*. Wiley.
- L. M, C., & E. F, D. (2020). *Modelo funcional de una unidad terrena basado en radio definida por software para comunicaciones satelitales en la banda UHF* (1st ed.). Universidad Industrial de Santander.
- Libre Space Foundation. (2022, August 17). *Build*. SatNOGS Wiki. Retrieved January 20, 2025, from <https://wiki.satnogs.org/Build>
- Libre Space Foundation. (s.f.). *DIY Satellite Ground Station and Network – SatNOGS*. SatNOGS. Retrieved January 20, 2025, from <https://satnogs.org/diy-satellites/>

Libre Space Foundation. (s.f.). Introduction. Retrieved Enero 18, 2025, from <https://wiki.satnogs.org/Introduction>

Libre Space Foundation. (s.f.). SatNOGS Network - Home. Retrieved January 18, 2025, from <https://network.satnogs.org/>

Maini, A. K., & Agrawal, V. (2010). *Satellite Technology: Principles and Applications*. Wiley.

Maral, G., & Bousquet, M. (2011). *Satellite Communications Systems: Systems, Techniques and Technology* (Z. Sun, Ed.). Wiley.

Mozilla Foundation. (2024, December 17). *Intercambio de recursos de origen cruzado (CORS) - HTTP | MDN*. MDN Web Docs. Retrieved January 20, 2025, from <https://developer.mozilla.org/es/docs/Web/HTTP/CORS>

NASA. (2018, September 2). *What are the spectrum band designators and bandwidths?* NASA. Retrieved January 20, 2025, from <https://www.nasa.gov/general/what-are-the-spectrum-band-designators-and-bandwidths/#hds-sidebar-nav-2>

NASA. (2024, August 15). *What are SmallSats and CubeSats?* NASA. Retrieved April 22, 2025, from <https://www.nasa.gov/what-are-smallsats-and-cubesats/>

National Environmental Satellite, Data, and Information Service. (s.f.). *Currently Flying | NESDIS | National Environmental Satellite, Data, and Information Service*. National Environmental Satellite, Data, and Information Service. Retrieved April 22, 2025, from <https://www.nesdis.noaa.gov/our-satellites/currently-flying>

NOAA. (s.f.). *Satellites | National Oceanic and Atmospheric Administration*. NOAA. Retrieved January 20, 2025, from <https://www.noaa.gov/satellites>

OpenJS Foundation. (s.f.). Node.js — Run JavaScript Everywhere. Retrieved January 20, 2025, from <https://nodejs.org/en>

- Portilla, J. (2023). La órbita del satélite libertad 1. *Revista De La Academia Colombiana De Ciencias Exactas, Físicas Y Naturales, Vol. 36 Núm. 141 (2012)*, 1- 10. 491-500
- Raspberry Pi Foundation. (s.f.). *Buy a Raspberry Pi 3 Model B+ – Raspberry Pi*. Raspberry Pi. Retrieved January 20, 2025, from <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-3-model-b-plus/>
- Relum. (s.f.). Relume — Websites designed & built faster with AI | AI website builder. Retrieved April 22, 2025, from <https://www.relume.io/>
- Render. (s.f.). Render: Cloud Application Platform. Retrieved April 22, 2025, from <https://render.com/>
- RTL-SDR. (s.f.). *RTL-SDR Blog V.3. Dongles User Guide*. RTL-SDR.com. Retrieved January 20, 2025, from <https://www.rtl-sdr.com/rtl-sdr-blog-v-3-dongles-user-guide/>
- rtl-sdr.com. (s.f.). *About RTL-SDR*. RTL-SDR.com. Retrieved April 22, 2025, from <https://www.rtl-sdr.com/about-rtl-sdr/>
- SatNOGS DB. (s.f.). Satellite. <https://db.satnogs.org/satellite/56205>
- SatNOGS Network. (s.f.). SatNOGS Network - Home. Retrieved April 22, 2025, from <https://network.satnogs.org/>
- SatNOGS Wiki. (s.f.). *Recommended Satellite Transmitters for Station Performance Benchmarking. Omnidirectional Station How To*. https://wiki.satnogs.org/Omnidirectional_Station_How_To
- SatNOGS Wiki. (s.f.). *Software Defined Radio*. Retrieved 2025, from https://wiki.satnogs.org/Software_Defined_Radio
- SatNOGS. (s.f.). *About – SatNOGS*. SatNOGS. Retrieved April 22, 2025, from <https://satnogs.org/about/>

Space Generation Advisory Council. (s.f.). Colombia. Retrieved 2025, from
<https://spacegeneration.org/regions/south-america/colombia>

Universidad Sergio Arboleda. (s.f.). Satellite Libertad 1.
<https://www.usergioarboleda.edu.co/satelite-libertad-1/>

Apéndices

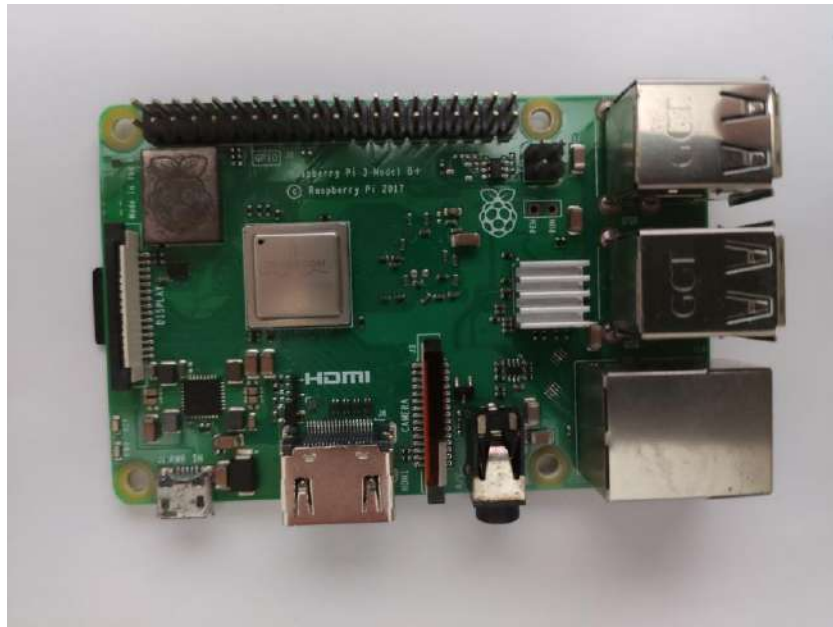
Apéndice A. *Equipo usado para la estación, fuente conmutada industrial.*



Apéndice B. *Equipo usado para la estación, dispositivo RTL-SDR USB.*



Apéndice C. *Equipo usado para la estación, Raspberry Pi 3 Modelo B+.*



Apéndice D. *Equipo usado para la estación, cable coaxial que conecta con la antena exterior del laboratorio.*

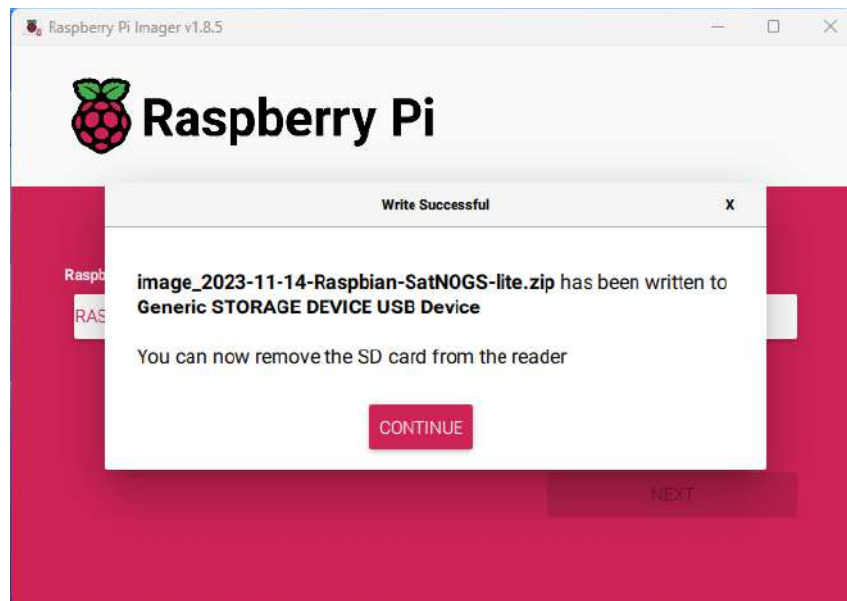


Apéndice E. *Equipo usado para la estación, cable de poder de tres hilos.*



Apéndice F. *Equipo usado para la estación, caja clasificación IP65 montada permanentemente.*



Apéndice G. *Captura de pantalla de la herramienta de instalación.*

Apéndice H. *Lista de los materiales y sus costos respectivos.*

Material	Cantidad	Unidad	Costo	
			Unitario	Total
Raspberry Pi 3 B+	1	Unidad	\$ 299,999.00	\$ 299,999.00
RTL-SDR 2832U	1	Unidad	\$ 172,923.89	\$ 172,923.89
Fuente de Poder (5V, 10A)	1	Unidad	\$ 80,000.00	\$ 80,000.00
Caja Hermética IP65	1	Unidad	\$ 200,000.00	\$ 200,000.00
Conectores RJ45	2	Unidad	\$ 200.00	\$ 400.00
Cable Ethernet 6A UTP	3	Metro	\$ 5,000.00	\$ 15,000.00
Cable de Poder	3	Metro	\$ 6,250.00	\$ 18,750.00
Prensa Estopa 1/2	3	Unidad	\$ 3,900.00	\$ 11,700.00
Conectores SMA	1	Unidad	\$ 10,000.00	\$ 10,000.00
Paquete Bridas plásticas	1	Unidad	\$ 6,300.00	\$ 6,300.00
Total				\$ 815,072.89

El software, como se mencionó antes, es de acceso gratuito, por lo que no se tiene en cuenta en los costos.