

ADQUISICIÓN, TRANSMISIÓN Y VISUALIZACIÓN DE LA TELEMETRÍA DEL
GLOBO DE LA MISIÓN E3TRATOS

DOUGLAS ALBERTO AMARANTO ALTAMAR

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS
ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA

2019

ADQUISICIÓN, TRANSMISIÓN Y VISUALIZACIÓN DE LA TELEMETRÍA DEL
GLOBO SONDA ESTRATOSFÉRICO DE LA MISIÓN E3TRATOS

DOUGLAS ALBERTO AMARANTO ALTAMAR

Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero Electrónico

Director

Julián G. Rodríguez Ferreira

Doctorado en Física, Especialidad astrofísica

Co-Director

Carlos A. Fajardo Ariza

Doctorado en Ingeniería Electrónica

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS
ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA

2019

DEDICATORIA

La persona más especial en mi vida, por tu amor desenfrenado hacia mi, tu pasión por mostrarme el camino correcto durante todos los días de mi vida, tu apoyo constante en cada momento, por siempre estar para mi. Tu inalcanzable sabiduría, la fuente de mi inspiración y motivación, sin ti esto no habría sido posible. Te amo con toda mi alma abuelita Marlene.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres Eddie Amaranto y Yamile Altamar por su incansable esfuerzo y apoyo durante toda mi vida, a ellos toda mi gratitud y mi amor.

A Shirley Oñate, gracias por tu compañía y apoyo constante, siempre ocuparás un lugar en mi corazón.

A mis directores Dr. Julián Gustavo Rodríguez Ferreira y Dr. Carlos Augusto Fajardo Ariza. Agradezco a ellos por su disponibilidad y orientación, una guía indispensable en el desarrollo de este proyecto.

A los profesores Alberto Camargo Díaz, Sandra Flores, Julián Jaimes Santamaría y Carlos A. Palma, sus sabios consejos hicieron más amplio este camino.

A mis amigos del grupo de investigación Halley, Jesús Bonilla, Camilo Pitta, José Salamanca, Pedro Salgado, quienes en tardes de café me ayudaron a ampliar mi visión en este proyecto y la vida.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	17
1. OBJETIVOS	19
2. MISIÓN E3TRATOS	20
2.1. INSTRUMENTO PRINCIPAL	22
2.2. ESTRUCTURA MECÁNICA	23
2.3. ESTE TRABAJO EN EL CONTEXTO DE LA MISIÓN E3TRATOS	26
3. INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN	27
3.1. Micro-computador Raspberry Pi 3	27
3.2. SENSORES	28
3.2.1. pt100	30
3.2.2. bmp180	32
3.2.3. Material particulado PMS5003	36
3.2.4. Gases MQ-135	38
3.2.5. Metano MQ-4	39
3.2.6. GPS V.KEL	40
3.2.7. Unidad de medición inercial MPU9250	41
4. TRANSMISIÓN DE DATOS	45
4.1. RADIO ENLACE	45
4.1.1. Radio RFD 900+	47
4.1.2. Rendimiento del radio RFD 900	50
4.1.3. Configuración del radio	52

4.2. TRANSMISIÓN DE TELEMETRÍA	55
4.3. PRUEBAS DE TRANSMISIÓN	56
5. INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIO	58
5.1. PLATAFORMA WEB IOT	58
5.1.1. SERVIDOR DJANGO CENTROTIC	58
5.2. SERVIDOR WEB Y HTTP	60
5.2.1. Método POST	62
5.2.2. Método GET	63
5.3. DESARROLLO Y PROGRAMACIÓN DE LA PLATAFORMA	64
5.3.1. Visualización de variables	65
5.3.2. Gráfica de variables	66
5.3.3. Posicionamiento en Google MAPS	66
5.3.4. Renderizado 3D de la Góndola	67
6. RECOMENDACIONES	71
7. TRABAJO FUTURO	72
8. CONCLUSIONES	74
BIBLIOGRAFÍA	75
ANEXOS	79

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Balance de radiación para la atmosfera.	20
Figura 2. Capas de la atmosfera de vuelo para E3Tratos	21
Figura 3. Diagrama de bloques del modelo funcional del sensor de CO2	22
Figura 4. Diseño montaje de instrumento laser para medición CO2	23
Figura 5. Diseño estructura mecánica de la góndola	24
Figura 6. Diseño interior estructura mecánica de la góndola	25
Figura 7. Diseño de base para sensores de la góndola	26
Figura 8. Raspberry Pi3 Especificación de pines	27
Figura 9. Conexión de sensores a Raspberry pi	28
Figura 10. Diagrama de flujo etapa de adquisición y transmisión	29
Figura 11. Sensor temperatura PT100	30
Figura 12. Sensor de temperatura y presión BM180	32
Figura 13. Conexión de sensores BMP180 a Microcontrolador	33
Figura 14. Lectura desde el espacio del Kernel al espacio de usuario Linux	35
Figura 15. Cálculo de temperatura sensor BMP180	36
Figura 16. Sensor PMS5003	36
Figura 17. Funcionamiento Sensor PMS5300	38
Figura 18. Gráfica de curvas características para los gases de MQ-4	39
Figura 19. Gráfica de curvas características para el Metano en el sensor MQ-4	39
Figura 20. GPS Implementado V.KEL VK2828U7G5LF	40
Figura 21. Unidad de medición inercial MPU9250	41
Figura 22. Protocolo I2C	43
Figura 23. Diagrama de adquisición para MPU9250	43

Figura 24.	Radio enlace GÓNDONLA - ESTACIÓN TERRENA	46
Figura 25.	Radios RFD900+	47
Figura 26.	Potencia de salida Vs Voltaje de entrada	47
Figura 27.	Consumo de corriente Vs Potencia de salida	48
Figura 28.	Guía de pines físicos del Radio RFD900	48
Figura 29.	Cable conversor TTL a USB RFD900	49
Figura 30.	Espectro ensanchado por salto de frecuencia RFD900	50
Figura 31.	Gráfica Waterfall Modulación del radio RFD900	51
Figura 32.	RFD 900 Configuración punto-multipunto	54
Figura 33.	Etapas de desarrollo en la misión	55
Figura 34.	Perfil de elevación prueba de transmisión	57
Figura 35.	Estructura de aplicación web Django	60
Figura 36.	Manejo de peticiones por el servidor para la interfaz gráfica.	61
Figura 37.	Variables en formato json	63
Figura 38.	Visualización de los valores de variables meteorológicas	65
Figura 39.	Gráfica de variables en la interfaz gráfica	66
Figura 40.	Mapa de seguimiento y geolocalización de la gondola	67
Figura 41.	Render 3D de la góndola	69

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Especificación técnica sensor PMS5003	37
Tabla 2. Especificación técnica sensor MQ-135	38
Tabla 3. Especificación técnica sensor MQ-4	40
Tabla 4. Frase de comunicación GPRMC del GPS	41
Tabla 5. Especificaciones técnicas del Radio RDF900	49
Tabla 6. Consumo de corriente del Radio RFD900 para 64kbit/s	52
Tabla 7. Comandos AT para configuración del Radio RFD900+	52
Tabla 8. Frase de comunicación Carga útil	56

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Montaje de las 3 etapas principales del proyecto	79
Anexo B. Montaje de instrumentos en prototipo de prueba	80
Anexo C. Diagrama de conexiones de los elementos que conforman la carga útil seleccionada para el proyecto	81
Anexo D. Diagrama de conexiones de los elementos que conforman estación terrena seleccionada para el proyecto	82

GLOSARIO

GLOBO SONDA Eleva carga útil en la atmósfera para suministrar información acerca de la presión atmosférica, la temperatura, y la humedad por medio de un aparato llamado radiosonda

CARGA ÚTIL Conjunto de instrumentos que cumplen un objetivo específico en plataformas de vuelo. Sensores, microcontroladores y transmisores en este proyecto.

I2C Circuito inter-integrado. Protocolo de comunicación digital síncrono de 2 señales. SDA, SCL.

SPI Serial Peripheral Interface. Protocolo de comunicación digital síncrono de 4 señales. MISO, MOSI, CLK, SELECT.

UART Universal Asynchronous Receiver-Transmitter. Transmisor-Receptor Asíncrono Universal, es el dispositivo que controla los puertos y dispositivos serie a través de dos señales. TX, RX.

UHF Ultra High Frequency. es la banda del espectro electromagnético que ocupa el rango de frecuencias de 300 MHz a 3 GHz.

RADIOENLACE Intercomunicación inalámbrica entre dos o más puntos.

RSSI Received Signal Strength Indicator. Indicador de fuerza de la señal recibida, es una escala de referencia para medir el nivel de potencia de las señales recibidas por un dispositivo en las redes inalámbricas.

TRAMA Es una serie sucesiva de bits, organizados en forma cíclica, que transportan información y que permiten en la recepción extraer esta información.

SERVIDOR Un servidor es una aplicación en ejecución capaz de atender las peticiones de un cliente y devolverle una respuesta en concordancia.

HTTP Hypertext Transfer Protocol. es el protocolo de comunicación que permite las transferencias de información en la World Wide Web.

GUI Graphical user interface. es un programa informático que actúa de interfaz de usuario, utilizando un conjunto de imágenes y objetos gráficos para representar la información y acciones.

RESUMEN

TÍTULO: ADQUISICIÓN, TRANSMISIÓN Y VISUALIZACIÓN DE LA TELEMETRÍA DEL GLOBO SONDA ESTRATOSFÉRICO DE LA MISIÓN E3TRATOS *

AUTOR: DOUGLAS ALBERTO AMARANTO ALTAMAR **

PALABRAS CLAVE: GLOBO SONDA, TELEMETRÍA, RADIOENLACE, IOT, UHF, PLATAFORMA WEB, SERVIDOR WEB, HTTP.

DESCRIPCIÓN:

Este trabajo se basa en la implementación de instrumentos electrónicos y herramientas computacionales los cuales serán instalados en una plataforma de gran altitud. Esta plataforma permitirá medir diversas variables atmosféricas y así reconstruir el perfil atmosférico a lo largo del recorrido del vuelo del globo sonda. Recopilar esta información es importante para el análisis y estudio del cambio climático en Colombia y el mundo. Con la integración de subsistemas a una computadora central, se realizarán procesos de adquisición de datos provenientes de sensores meteorológicos y rastreo de la góndola. A través de un modulo de transmisión se establecerá un enlace radio en la banda UHF, en un rango de 10 a 35 kilómetros de altura con una estación terrestre en donde a su vez se implementarán módulos de recepción de la información adquirida para su inmediata visualización en una plataforma web, puesta en marcha en el servidor de la computadora del segmento tierra.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y telecomunicaciones. Director: Julián Rodríguez Ferreira, Doctorado en Ingeniería Informática y Automática.

ABSTRACT

TITLE: ACQUISITION, TRANSMISSION AND VISUALIZATION OF THE TELEMETRY OF THE SOUNDING BALLOON OF E3TRATOS MISSION *

AUTHOR: DOUGLAS ALBERTO AMARANTO ALTAMAR **

KEYWORDS: BALLOON BORNE, TELEMETRY, UHF, RADIOLINK, WEB SERVER, IOT, GUI.

DESCRIPTION:

This work is based on the implementation of electronic instruments and computational tools in which it is located on a high altitude platform. This platform allows measuring the atmospheric variables and thus reconstructing the atmospheric profile along the flight path of the balloon. Collecting this information is important for the analysis and study of climate change in Colombia and the world. With the integration of subsystems to a central computer, data acquisition processes of the meteorological sensors and the tracking of the gondola will be carried out. Through a transmission module, a radio link will be established in the UHF band, in a range of 10 to 35 kilometers in height with a ground station where, in turn, reception modules of the acquired information will be implemented for its immediate visualization in a web platform, start-up in the server of the ground segment computer.

* Bachelor Thesis

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y telecomunicaciones. Director: Julián Rodríguez Ferreira, Doctorado en Física, Especialidad astrofísica.

INTRODUCCIÓN

La atmósfera es una capa formada por un conjunto de gases que rodean el globo terráqueo distribuidos desde la superficie terrestre hasta una altura que alcanza los 10000 km. El aire, vital para la vida en el planeta, está compuesto por gases como nitrógeno, oxígeno, argón, dióxido de carbono, ozono y vapor de agua. Estos gases, que se encuentran distribuido en los primeros 30 km de altura hoy en día están en desequilibrio debido a la fuerte influencia antropogénica que afecta considerablemente su calidad lo cual repercute gravemente en la vida de los seres vivos. Los globos sonda son considerados hoy en día el mecanismo de bajo costo para acceder a lo que se conoce como espacio cercano, comprendido entre la troposfera alta y estratosfera baja, y realizar monitoreo de la calidad del aire. Este trabajo describe como implementar la carga útil basado en dispositivos electrónicos disponibles en el mercado listos para usar y software de código abierto para lograr ensamblar un sistema de medición insitu de variables atmosféricas para obtener cantidades físicas de estas variables directamente y obtener periódicamente el estado de los gases en distintas zonas y recopilar información que ayude a determinar las principales fuente de emisión de gases que contribuyen al efecto invernadero. Tres subsistemas comprenden un sistema general encargado de adquirir, transmitir y visualizar las mediciones realizadas, con el fin de obtener la información medida tan pronto sea recolectada.

La computadora central de procesamiento conforma la etapa de adquisición y la conecta con la etapa de radiocomunicación, aquí se transmite desde la góndola y se recibe en una estación terrena, donde simultaneamente se envía a un servidor web. En la computadora del globo se estructuran las mediciones dentro de un formato para transmitir a la estación terrestre equipada con antenas transceptores conectadas a

un computador central donde se halla la etapa de visualización, toda la información en tiempo real. Está basado en el concepto IoT de tal forma que permite enviar al la nube instantaneamente cada uno de los paquetes de información recibida haciendo posible que interesados puedan acceder a esta en cualquier lugar del mundo a través de internet permitiéndoles, visualizar y descargar toda la información obtenida.

En este trabajo se presenta la documentación del trabajo realizado para lograr interconectar los tres elementos principales: Sensores, transceptores y plataforma web. El computador principal es una raspberry pi3 en donde se adquiere los datos de los sensores y se envían al transmisor RFD900, se reciben por su respectivo par y se envía al servidor web basado en Django disponible en CENTROTIC. Se explica el procedimiento para la adquisición de los datos de los sensores, se observa el comportamiento de los transceptores con pruebas de transmisión realizadas a diferentes distancias, se documenta el modo de operación del servidor para aceptar manejar peticiones y se elabora una descripción de como el monitor web fue desarrollado.

1. OBJETIVOS

Objetivo general

- Transmitir los datos obtenidos por la carga útil del globo sonda mediante un enlace radio punto a punto en línea de vista con el segmento tierra.

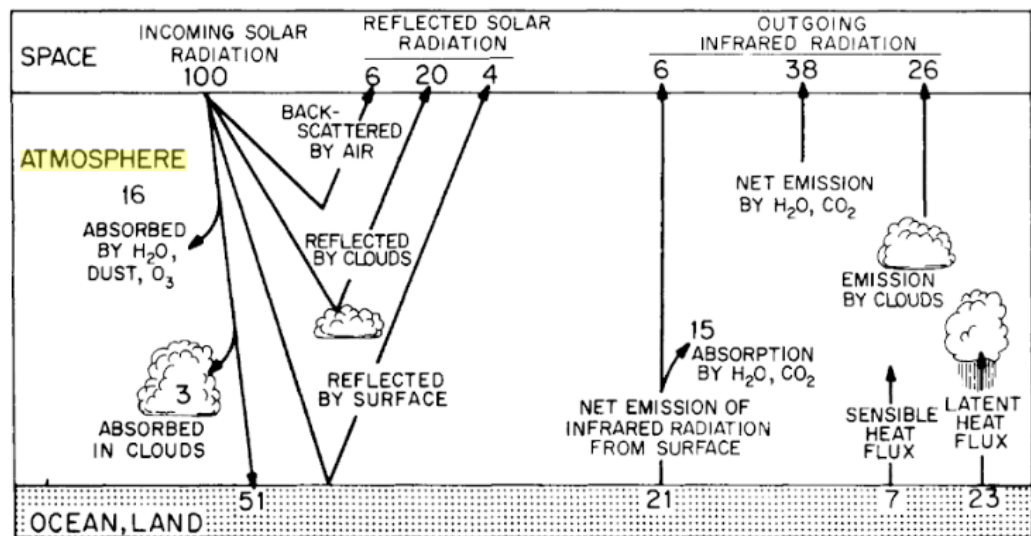
Objetivos específicos

- Adquirir los datos de los instrumentos de medición que constituyen la carga útil del globo sonda.
- Implementar un sistema de comunicación basado en antenas y transceptores con frecuencia de operación en la banda UHF.
- Visualizar en una interfaz gráfica tipo plataforma web la información recibida en el segmento tierra.
- Validar el correcto funcionamiento del enlace a través de pruebas de transmisión entre ubicaciones con línea de vista entre sí.

2. MISIÓN E3TRATOS

El cambio climático es un tema que hoy en día preocupa a distintos sectores, debido a los impactos directos en el desarrollo de las actividades cotidianas de la sociedad. La radiación solar, es una de las fuentes de vida del planeta tierra pero también un actor importante el cambio climático. Cuando los rayos de sol atraviesan la atmósfera impactan la superficie terrestre y oceánica, la energía solar es absorbida y redistribuida por las circulaciones atmosféricas y oceánicas en busca de la compensación de contrastes térmicos desde el ecuador hasta los casquetes polares.

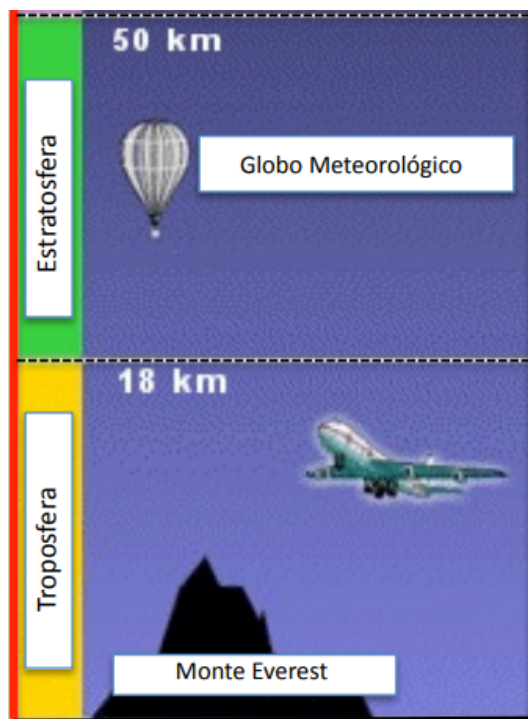
Figura 1. **Balance de radiación para la atmosfera** ¹



La energía recibida es re-emitada al espacio para mantener a largo plazo un balance entre energía recibida y re-emitada, procesos externos debido influencia humana alteran este balance y su resultado es lo que se conoce como efecto invernadero. Altas emisiones de CO₂ aumentan la concentración de este gas en la troposfera y estratosfera evitando que la radiación solar reflejada por la superficie terrestre escape al espacio alterando la circulación del mar y la atmósfera y, consecuentemente

el ciclo hidrológico lo que posteriormente se manifestará como cambios en la precipitación y la temperatura de la superficie de la tierra. Por esta razón se considera de gran importancia desarrollar un elemento de monitoreo de la calidad del aire que ayude a determinar la concentración de los gases que implican con mayor fuerza en la desestabilización de la capa de ozono, en especial CO₂ ².

Figura 2. **Capas de la atmosfera de vuelo para E3Tratos** ³



La misión E3tratos, por primera vez en la Universidad Industrial de Santander, implementa un globo sonda estratosférico que busca recorrer la troposfera y estratosfera baja. Realiza el diseño construcción y puesta en marcha de los elementos necesarios para realizar monitoreo del estado del aire durante el tiempo de vuelo. Se realiza el diseño y construcción de la estructura mecánica que conforma la góndola

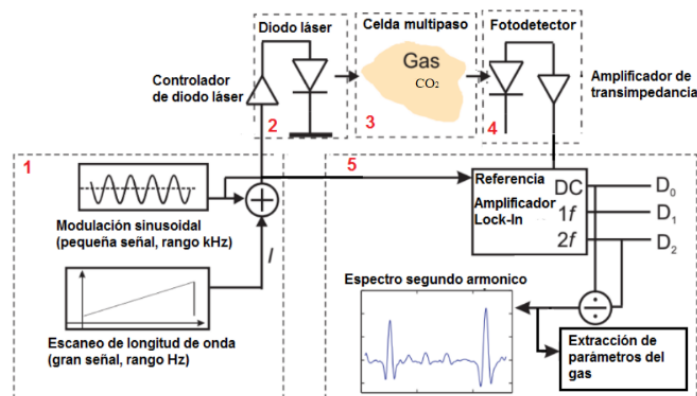
² MARTINEZ fernandez y OSNAYA Patricia. *Cambio climático: una visión desde México*. Instituto Nacional de Ecología, 2004.

donde en su interior se instala la carga útil constituida por instrumentos de medición, sensores, microcomputadores, transmisores, antenas, rastreadores y baterías.

2.1. INSTRUMENTO PRINCIPAL

La misión E3Tratos tiene como función principal realizar el diseño y fabricación del sistema de instrumentación capaz de medir concentraciones de CO₂ en la atmósfera usando la técnica de espectroscopia laser de diodo sintonizable (TDLS), con modulación de longitud de onda (WMS). Esta técnica consiste en modular la longitud de onda de emisión de un diodo laser por medio de la variación de la corriente que circula a través de este, el ancho de banda y la longitud de emisión central se seleccionan previamente con el fin de muestrear una banda de absorción atmosférica para asegurar que exclusivamente haya presencia del gas estudiado, el haz de luz emitido por el diodo láser interactúa con el gas en una celda óptica multipaso, finalmente la señal obtenida se descompone en armónicos, y con las características del segundo armónico es posible deducir la concentración de este gas ⁴.

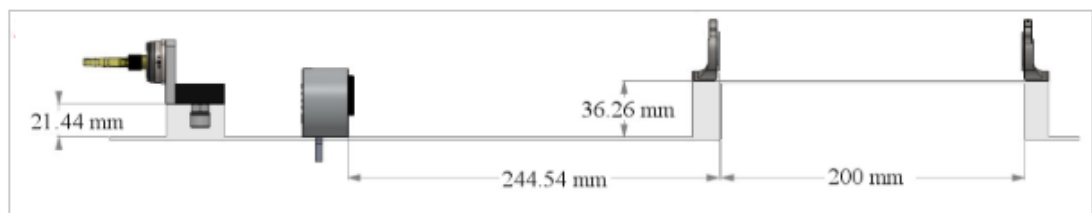
Figura 3. Diagrama de bloques del modelo funcional del sensor de CO₂ ⁵



⁴ CAYAOCHOA Heiner y MERCHAN Nelson. "Diseño del sistema de instrumentación de la misión E3Tratos para medir concentración de gases atmosféricos mediante el método de espectroscopia láser de diodo sintonizable". En: Universidad Industrial de santander. 2018.

Es una técnica utilizada para medir concentración de gases mediante las líneas de absorción de gas, utilizando una fuente de luz monocromática como un diodo láser emitiendo a la longitud de onda de una banda de absorción del espectro del gas a medir, el haz de luz interactúa con una muestra de gas en una celda óptica multipaso donde a través de espejos la luz se refleja varias veces para aumentar la longitud de su recorrido y por medio de la absorción sufrida después de su paso por la celda óptica mediante un procesamiento de señal al espectro de la señal recibida se obtiene la concentración (ppm) del gas.

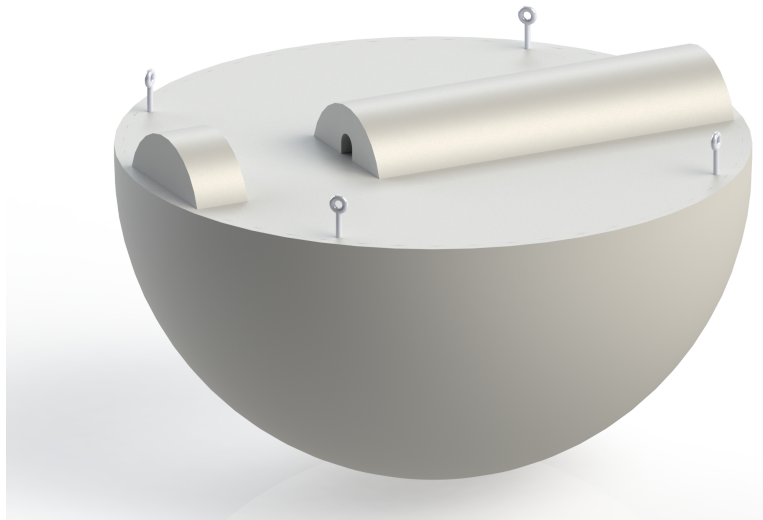
Figura 4. **Diseño montaje de instrumento laser para medición CO₂** ⁶



2.2. ESTRUCTURA MECÁNICA

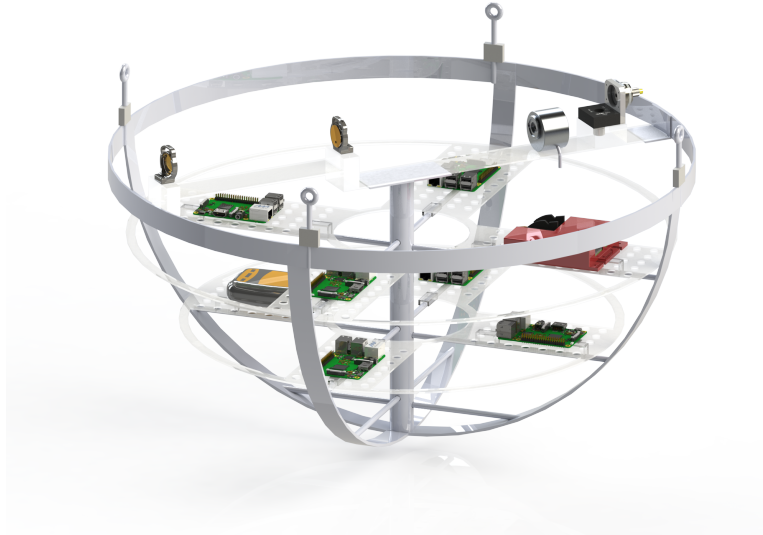
El instrumento de medición de CO₂, los elementos del sistema de comunicación con la estación terrestre, y otros sensores. Representan un alto costo en el presupuesto del proyecto. Por esto fue necesario diseñar una góndola con una estructura mecánica robusta que soporte el impacto de aterrizaje y garantice la protección de los instrumentos, por otra parte, alguno de estos instrumentos se ven afectados por la temperatura que va decreciendo durante el ascenso del globo. Esta estructura cuenta con las propiedades térmicas que logran aislar los instrumentos de interés de las temperaturas que afectan su operación.

Figura 5. **Diseño estructura mecánica de la góndola del globo sonda de la misión E3Tratos** ⁷



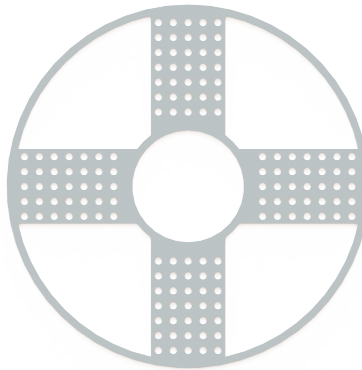
La primera característica a considerada a la hora de diseñarla es que debe construirse con la menor cantidad de masa posible, es por esto que el material del que será construida debe ser seleccionado buscando que tenga una densidad baja y propiedades de resistencia que le permitan soportar el impacto al hacer contacto con el suelo, entre menor sea la masa que requiera la estructura mayor será la cantidad de instrumentos que se pueda incluir.

Figura 6. Diseño interior estructura mecánica de la góndola del globo sonda de la misión E3Tratos ⁸



La geometría de la góndola es otra característica destacada pues se necesita que la estructura tenga una distribución y sujeción de la instrumentación que permita la toma de datos y mantenga la integridad de los instrumentos, es por esto que deben estudiarse los requerimientos de algunos dispositivos, ejemplo de ello es el medidor de CO₂ el cual necesita estar en contacto con la atmósfera y sin embargo debe protegerse de la luz para que los sensores entreguen valores precisos, estas condiciones establecen las pautas para diseñar un contenedor para dicho medidor.

Figura 7. Diseño de base para sensores de la góndola del globo sonda de la misión E3Tratos ⁹



Se desarrolla la interfaz mecánica para soportar cada uno de los elementos electrónicos, esta interfaz es ubicada de tal manera que cuando se balancee la estructura, se mantenga la estabilidad del conjunto durante el trayecto.

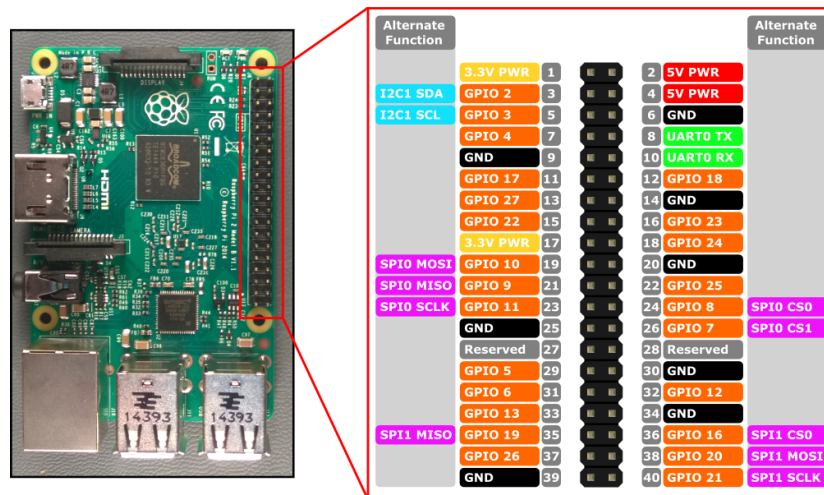
2.3. ESTE TRABAJO EN EL CONTEXTO DE LA MISIÓN E3TRATOS

En este trabajo de grado se quiere ensamblar una primera versión de lo que significa un sistema funcional para la adquisición de variables de sensores, transmitir la lectura de cada uno de estos, visualizarlos en una interfaz gráfica IoT y almacenarlos en una base de datos. Desarrollar y/o implementar el software en la computadora del globo que permita obtener las mediciones de sensores y transmitirlos a una estación terrena. A su vez desarrollar el software que se encarga de recibir las tramas de datos recibidas y enviarlas a un servidor web. Por ultimo, diseñar y desarrollar la interfaz gráfica que visualiza, gráfica, ubica y localiza el globo en un mapa de google y muestra la actitud de la góndola.

3. INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

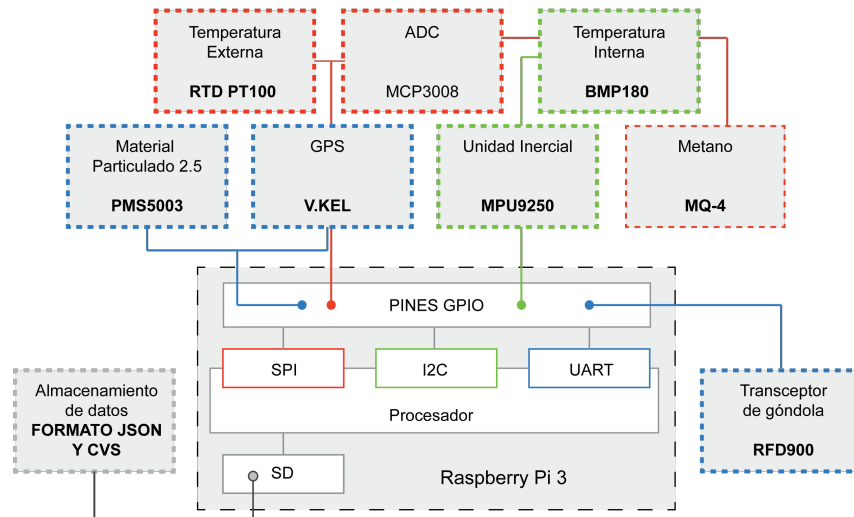
3.1. Micro-computador Raspberry Pi 3

Figura 8. Dispositivo de cómputo implementado de la misión E3Tratos



En este proyecto se realiza la medición de variables meteorológicas con sensores de bajo costo. Adquirir las señales de estos sensores con un microcomputador Raspberry Pi 3 de sistema operativo Raspbian, poner a prueba la capacidad de éste para comunicarse con dichos sensores a través de protocolos de comunicación, como serial, I2C, SPI y realizar mediciones de señales analógicas a través del conversor analógico digital MPC3008 de ocho canales con resolución de 10 bits.

Figura 9. **Conexión sensores de sensores a Raspberry pi**



3.2. SENSORES

En el conjunto de sensores implementados en este trabajo, el sensor de temperatura externa PT100 es conectado a un módulo que se encarga de digitalizar la señal que éste mide y entregarla a la Raspberry Pi con el protocolo de comunicación digital SPI, aquí se hace uso de librería de código abierto en el microcomputador para realizar la adquisición ¹⁰. Además se realiza la lectura de la temperatura interna del sensor BMP180 con el driver desarrollado para este proyecto con las bases obtenidas en el Curso de sistemas embebidos, de la escuela E3T. Sensores de Luz ultravioleta, Gases MQ-135, Metano MQ-4

¹⁰ Stephen SMITH. *MAX31865*. <https://github.com/steve71/MAX31865.git>. 2017.

Figura 10. Diagrama de flujo etapa de adquisición y transmisión

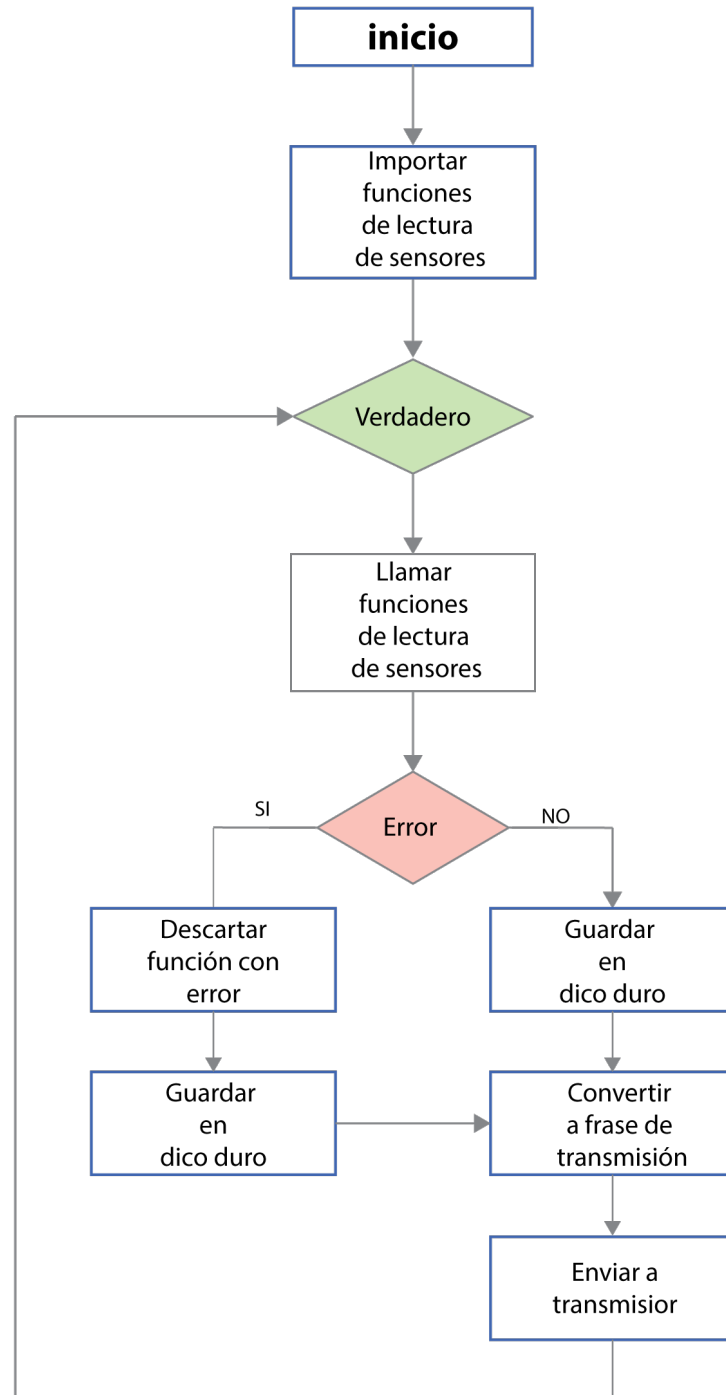


Figura 11. **Sensor temperatura PT100**



3.2.1. pt100 El MAX31865 es un convertidor de resistencia a valor digital, optimizado para los detectores de temperatura de resistencia de platino (RTD). Una resistencia externa ajusta la sensibilidad para la RTD y un ADC sigma-delta de precisión convierte la relación de la resistencia de RTD a la resistencia de referencia en forma digital. ¹¹ Contiene un ADC de 15 bits interno conectado a una interfaz SPI asociada a una logica de control. El circuito de condicionamiento de señal está optimizado para trabajar con PT100 y PT1000, en el caso de las PT100 utiliza una resistencia de 430 Ω .

El voltaje de salida del módulo es usado para polarizar la resistencia de referencia y con la corriente que fluye a través de esta excitar el RTD. El voltaje a través de RTD es aplicado a la entrada diferencial del ADC (RTDIN+ y RTDIN-). El ADC produce una cantidad representada digitalmente con 2^{15} niveles. EL voltaje aplicado a la re-

¹¹ Y. ARMAS CAJAS E.J. "Artículo Científico-Diseño e implementación de un prototipo de módulo para visualizar por medio de Touch Screen, PC y dispositivos móviles curvas características de sensores de temperatura en el rango de 0 a 200 c, para el Laboratorio de circuitos electrónicos de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga." En: (2015).

sistencia de referencia es 1.93 v y la corriente de excitación que pasa por RTD es 1.5 [mA]. ¹²

$$R_t = \frac{A_{ADC}}{32768} * 430 \quad (1)$$

Donde A_{ADC} es el valor de salida del ADC.

Los RTD son sensores con una resistencia que varía con la temperatura, el platino es el más común y preciso material para fabricarlas. Las características del platino permiten calcular temperaturas en un rango superior a los 800° C. Para las RTD el valor más común de resistencias a 0° C es 100 Ω Para calcular la temperatura se tiene encuentra la ecuación destrita por Callendar Van Dusen ¹³ y la norma IEC 751 (PT100) la cual define las constantes según las concentraciones de impurezas en el platino ¹⁴. La curva resistencia vs. temperatura es razonablemente lineal, pero tiene algunas curvaturas según describe:

$$R_t = R_0(1 + aT + bT^2 + C(T - 100)T^3) \quad (2)$$

¹² Jayanta Kumar Nath, Sharmila Sharma y Kanak Chandra Sarma. "A Comparative Study of Accuracy Improvement of Temperature Measurement with PT100 and PT1000 for Wider Range". En: ().

¹³ MS Van DUSEN. "Platinum-resistance thermometry at low temperatures1". En: *Journal of the American Chemical Society* 47.2 (1925), págs. 326-332.

¹⁴ *MAX31865 RTD-to-Digital Converter*. 19-6478. Rev. 3. MAXIM INTEGRATED. Jul. de 2015.

Donde:

T = Temperatura

R_t = Resistencia en T

R_0 = Resistencia a 0 °C

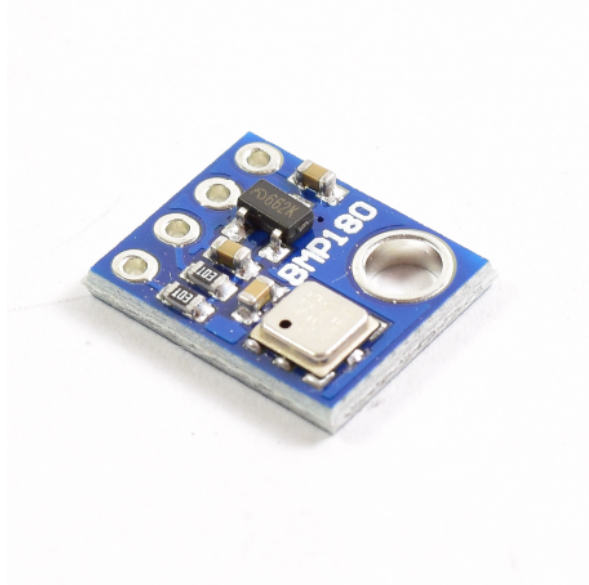
Los coeficientes de la ecuación 2 a, b, c especificados por la norma IEC 751 son:

$$a = 3.90830 \times 10^{-3}$$

$$b = -5.77500 \times 10^{-7}$$

$$c = -4.18301 \times 10^{-12}, \text{ para temperaturas } < 0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Figura 12. **Sensor de temperatura y presión BM180**

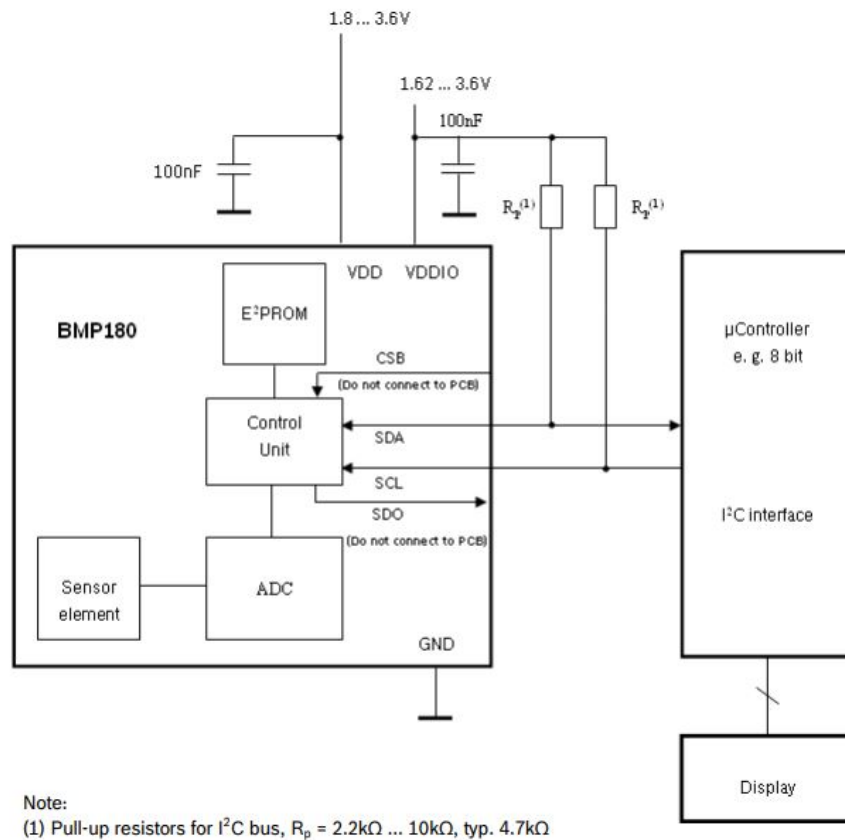


3.2.2. bmp180 Se implementa el sensor BMP180 para obtener la temperatura interna de la góndola, la cual se estima según los reportes de las investigaciones de los tesisistas encargados de desarrollar la estructura mecánica, no superar el umbral de -30 °C, para realizar la adquisición de la señal de este sensor se desarrolla el

Driver para el protocolo I^2C para el sistema operativo Linux y arquitectura ARM.

El sensor de presión atmosférica BMP180 lee la presión atmosférica, la cual varía con el clima, principalmente con la temperatura, pues esta hace cambiar la densidad del aire, que se ve reflejado en un cambio en el peso y por consiguiente en un cambio de presión. Este sensor maneja el protocolo I2C, posee alta precisión y bajo consumo de energía.

Figura 13. **Conexión de sensores BMP180 a Microcontrolador**



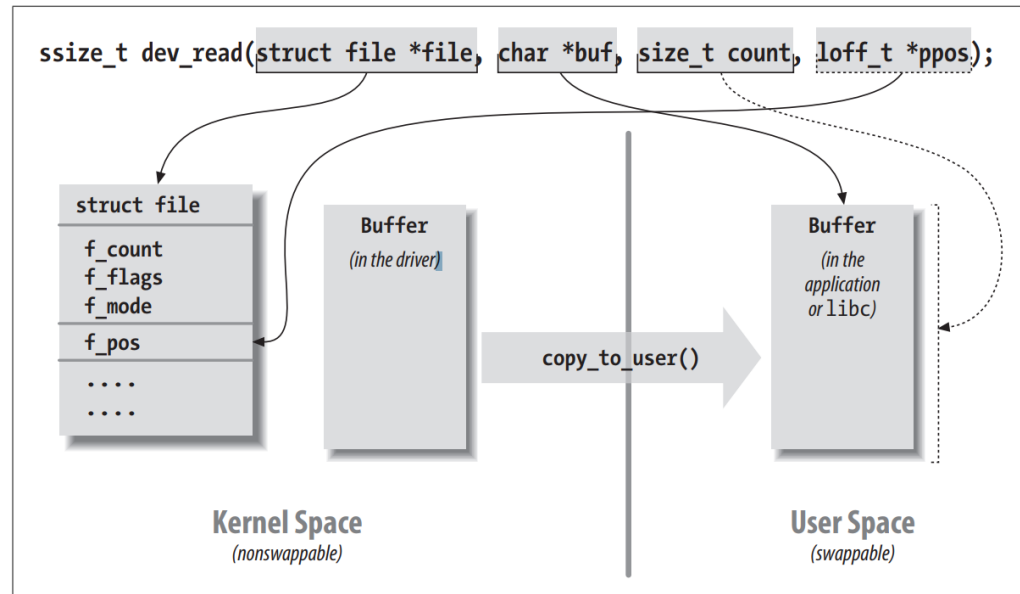
El protocolo I2C es un estándar de comunicación, usado principalmente para la transferencia de información entre circuitos integrados. Este está comprendido por un bus, con la ayuda de este se puede controlar una amplia gama de dispositivos electrónicos que acepten un flujo de bits en serie regulados por un reloj (este debe

ser síncrono). El protocolo I2C incluye una línea de reloj, una para el flujo de datos en ambas direcciones, y un pin dedicado para la masa o tierra (GND). Las líneas de reloj y datos son del tipo drenaje abierto, es decir, un estado similar al de colector abierto, pero asociadas a un transistor de efecto de campo (o FET). Se deben polarizar en estado alto (conectando a la alimentación por medio de resistores "pull-up") lo que define una estructura de bus que permite conectar en paralelo múltiples entradas y salidas.

La programación del driver se llevó a cabo en lenguaje C utilizando y se dividió en tres partes, la descripción del protocolo I2C en funciones, la programación de las funciones para la apertura, lectura y cierre del archivo que enlaza el espacio del kernel con el espacio de usuario y la programación de las funciones de apertura y cierre del driver. Para la comunicación entre el driver y el sensor se programaron cuatro funciones: Escritura, lectura en general, lectura de temperatura y lectura de presión. La función de lectura tiene como argumento una variable de bandera que indica cuando se escribe un dato a una dirección específica o simplemente escribir una dirección al buffer i2c. La manera en la que se programó el protocolo para una transferencia hacia el sensor fue la siguiente:

1. Desactivar comunicación I2C.
2. Configura la dirección del esclavo.
3. Escribir el numero de bits a transmitir (en bytes).
4. Escribir la dirección del registro al que se escribirá.
5. Escribir los datos que se desean transmitir (si ese es el caso).
6. Limpiar registro de estado (que indica cuando hay una transferencia activa).
7. Activar comunicación I2C (Comenzar una transferencia de escritura).

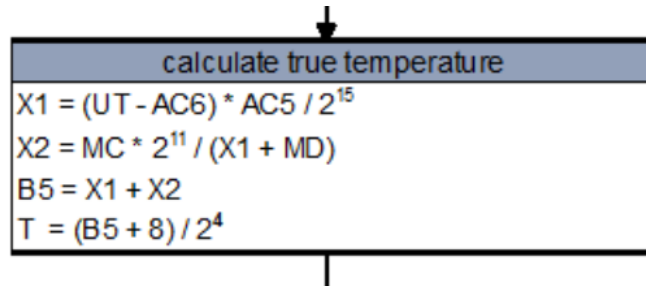
Figura 14. **Lectura desde el espacio del Kernel al espacio de usuario Linux** ¹⁵



Definida las funciones que realizan transferencia de escritura y lectura el Driver i2c se agrupa los bits de repuesta con la información del sensor en un buffer cuyo tamaño debe ser reservado en memoria. El buffer es parámetro del método `dev_read`, para enviar la información al espacio del usuario por medio de la capa de aplicación ¹⁶. Esta capa es la que conecta el driver con la interfaz gráfica, es el programa en el espacio del usuario en donde se hacen todos los cálculos y acciones que en el espacio del kernel no se pueden hacer, en este programa se leen los datos de calibración y las lecturas de temperatura y presión sin compensar enviadas por el driver, se organizan en diferentes variables porque desde el kernel se envió en un buffer 26 bytes.

¹⁶ RUBINI Alessandro y CORBET Jonathan. *Linux device drivers*. "O'Reilly Media, Inc.", 2001.

Figura 15. **Cálculo de temperatura proporcionado por el fabricante del sensor BMP180, teniendo en cuenta los valores almacenados en la memoria E-PROM del sensor**



Después Realizar las operaciones descritas por el fabricante del sensor para obtener las lecturas de temperatura y presión, en estas operaciones intervienen los datos de ajuste como se muestra en la figura 15, se escribe un archivo de texto plano de nombre ?data.txt? con los valores de temperatura y presión medidos por el sensor para su uso en la interfaz gráfica.

3.2.3. Material particulado PMS5003

Figura 16. **Sensor PMS5003**



La materia particulada atmosférica, también se conoce como material particulado

o partículas, es materia sólida o líquida microscópica suspendida en la atmósfera. Las partículas son una de las principales fuentes de contaminación del aire. Entre ellos, las partículas aerodinámicas o de 2,5 micrones de partículas suspendidas se conocen como partículas finas ¹⁷. El sensor de calidad de aire Plantower PMS 5003 se elige en este proyecto para utilizar las propiedades de absorción y dispersión de la luz para medir el conteo de partículas, el tamaño y la concentración. Las especificaciones de los instrumentos de medición PMS5003 se enumeran en la Tabla 1.

Tabla 1. **Especificación técnica sensor PMS5003**

<i>Instrumento</i>	<i>PMS5003</i>
Metodo de medición	Dispersión de Luz
Rango de medición	0.3 a 1.0; 1.0 a 2.5; 2.5 a 10 μm)
Eficiencia de conteo	50 %@0.3um 98 % @>= 0.5 μm
Volume	0.1 (L)

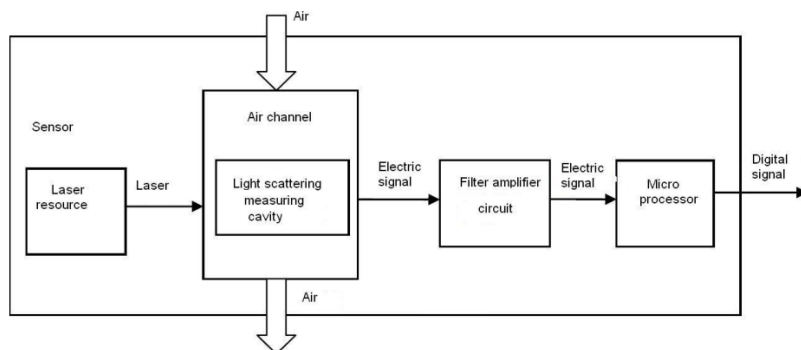
El principio de dispersión de láser, produce dispersión láser para irradiar partículas en suspensión en el aire, luego recolectar la luz de dispersión, y finalmente obtener la curva de dispersión de la luz con el tiempo. Al final, el microprocesador del sensor puede calcular el diámetro de partícula equivalente y el número de partículas con un diámetro diferente por unidad de volumen según la teoría de MIE ¹⁸.

Debido a que las partículas pueden permanecer en la atmósfera durante mucho tiempo, es posible medirlas realizar un perfil vertical que indique conteo de estas partículas en el aire que respiramos. Para esto se implementa el Sensor PMS5003 y se extraen las mediciones con el microcomputador de la misión a través de protocolo

¹⁷ HUAN Y YUE-Min CHEN CHING-Ju. CHEN JOU-An. "INTELLIGENT ENVIRONMENTAL SENSING WITH AN UNMANNED AERIAL SYSTEM IN A WIRELESS SENSOR NETWORK." En: *International Journal on Smart Sensing & Intelligent Systems* 10.3 (2017).

¹⁸ FU Qiang y SUN Wenbo. "Mie theory for light scattering by a spherical particle in an absorbing medium". En: *Applied Optics* 40.9 (2001), págs. 1354-1361.

Figura 17. **Funcionamiento Sensor PMS5300**



serial ¹⁹.

3.2.4. Gases MQ-135 El sensor MQ-135 es un sensor que tiene menor conductividad si el aire está limpio, al detectar gas, amoníaco, sulfuro y CO₂ aumenta su conductividad lo que genera una señal en sus salidas, ya que tiene salida digital y analógica, esta sensibilidad se puede ajustar con una resistencia variable que tiene en la parte posterior.

Tabla 2. **Especificación técnica sensor MQ-135** ²⁰

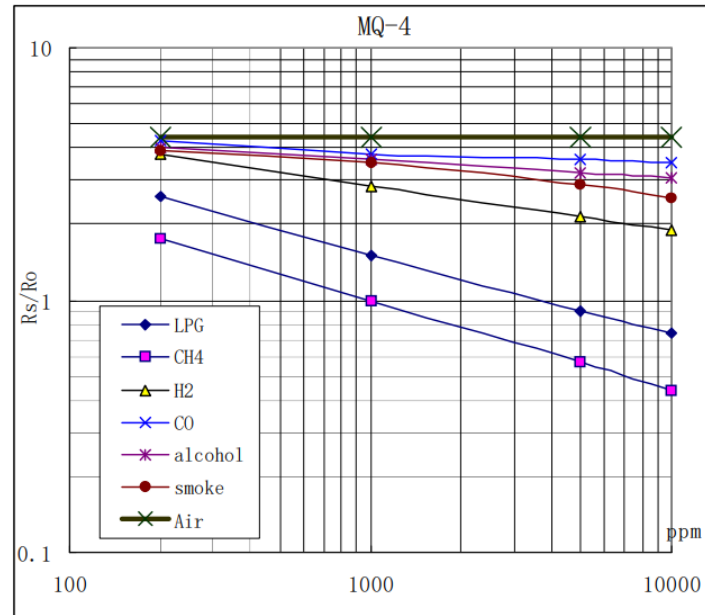
<i>Instrumento</i>	<i>MQ-135</i>
Detección PPM	10 PPM - 1000 PPM
Concentración Detectable	CO ₂ , Amoníaco, Benceno, Sulfuro
Resistencia de censado	CO ₂ , 300 $K\Omega$ - 200 $K\Omega$
Tasa de concentración	0.65

La salida analógica del sensor es conectada a unos de los canales del ADC MCP3008. Para calcular las mediciones de CO₂ se parte del intercepto de las curvas para cada gas.

¹⁹ *Digital universal particle concentration sensor*. SCAQMD, South Coast Air Quality Management District. Jun. de 2016.

3.2.5. Metano MQ-4 Este es un sensor para detectar gas metano en el aire; El MQ-4 puede detectar concentraciones de 300 a 10000 ppm. Este transductor contiene una alta sensibilidad y un tiempo de respuesta rápido.

Figura 18. **Gráfica de curvas características para los gases de MQ-4**



El valor de resistencia de MQ-4 es diferente de varias concentraciones de gas. El fabricante recomienda ajustar el detector para 5000 ppm de concentración de CH₄ en el aire y utilizar el valor de resistencia de carga (RL) de aproximadamente 20 K Ω .

Figura 19. **Gráfica de curvas características para el Metano en el sensor MQ-4**

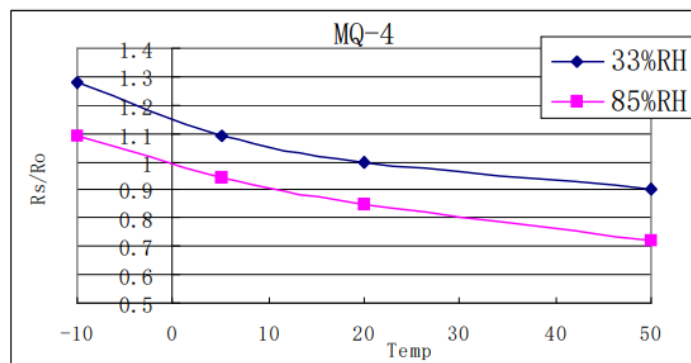
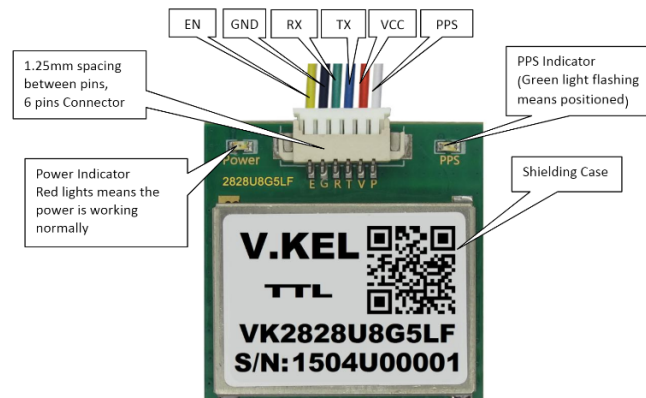


Tabla 3. **Especificación técnica sensor MQ-4**

<i>Instrumento</i>	<i>MQ-4</i>
Detección PPM	300-10000ppm
Concentración Detectable	Metano, propano, butano
Resistencia de censado	2K Ω - 20K Ω (en 5000ppm CH4)
Tasa de concentración	0.65

3.2.6. GPS V.KEL

Figura 20. **GPS Implementado VK2828U7G5LF**



La posición de la góndola es obtenida al realizar la lectura de las coordenadas proporcionadas por el gps que se muestra en la figura 20. Es conectada al micro-computador a través de un conversor TTL to USB para realizar lectura serial accediendo al dispositivo disponible en el kernel en la ruta `\dev\ttyUSB0`. La información de posición se encuentra disponible en el standar NMEA 0183 ²¹. Dado que el GPS esta configurado en lo que se denomina modo talker sentece, enviando una frase de caracteres con la información organizada y separada por comas . Este gps envía 6 frases diferentes, cada una con información especifica en este proyecto se

²¹ RICHARD B LANGLEY. "NMEA 0183: A GPS receiver interface standard". En: *GPS world* 6.7 (1995), págs. 54-57.

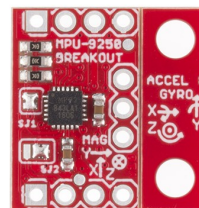
hace uso de la frase que inicia con GPRMC, y GPVTG para obtener coordenadas y velocidad en kilómetros por segundo. como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 4. **Frase de comunicación GPRMC del GPS** ²²

<i>Campo</i>	<i>Significado</i>
GPRMC	Recommended Minimum sentence C
033416.00	03:34:16.00 UTC
A Status	A=activo or V=Vacío
2619.06271,N	Latitud: 26 grados 19.06271' N
11952.82288,E	Longitud: 119 grados 52.82288' E
198.65	Ángulo de seguimiento en grados
120514	Fecha 2014/05/12
„,A	Variaciones magnéticas
*6D	Dato de suma de verificación

La cadena de texto GPRMC usa el formato grados-minutos para longitud y latitud. Se ha convertido en representación de grados decimales (DD), para facilitar la visualización en el lenguaje Javascript de la API de Google maps. El dato de posición proporcionado por el GPS tiene una precisión de hasta 5 cifras decimales, indicando que la máxima exactitud de los minutos puede ser 0.00001 con error de 2.5 metros.

Figura 21. **Unidad de medición inercial MPU925**



3.2.7. Unidad de medición inercial MPU9250 En la ingeniería aeroespacial la actitud es la orientación espacial de un satélite. Para determinar la actitud de la gón-

dola se implementa la unidad de medición inercial de la figura 21.

Los ángulos de Euler son una forma de representar la orientación de un objeto con tres ángulos, que mediante una sucesión ordenada de giros definen el cambio de un sistema de coordenadas a otro ²³. Estos ángulos se denominan yaw (ψ), pitch (θ) y roll (ϕ) en donde el ángulo roll es la rotación del cuerpo alrededor del eje x, el ángulo pitch es la rotación alrededor del eje y y el ángulo yaw es la rotación alrededor del eje z.

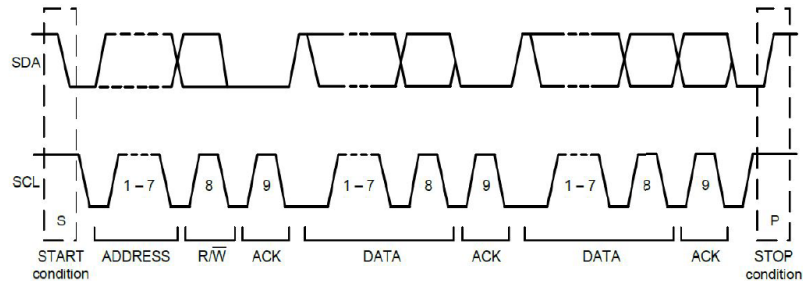
El dispositivo de referencia MPU9250 fabricado por InvenSense es una IMU de 9 ejes. De acuerdo con la hoja de datos proporcionada por el fabricante, tiene opción de programar por el usuario las escalas de sensibilidad y rango de linealidad. Basado en²⁴ se selecciona una tasa de $\pm 2g$ para los acelerómetros de cada eje. MPU9250 es una versión mejorada dado que combina a la unidad de medición inercial MPU6050, que únicamente contiene acelerómetros y giroscopios y el AK8963, que es una brújula de 3 ejes llamada magnetómetro. El MPU9250 utiliza convertidores de analógico a digital (ADC) de 16 bits para digitalizar las salidas de los giroscopios, acelerómetros y magnetómetros. Para realizar la lectura de los ángulos de Euler con la Raspberry pi se tiene en cuenta el mecanismo y las librerías desarrolladas en ²⁵ en las cuales, además se realiza el procedimiento de calibración.

²³ PINEDA Gustavo y SALAS Fernando. "Diseño de un prototipo de medición de la actitud en Tierra de un pico-satélite de estándar CubeSat". En: Universidad Industrial de Santander. 2018, pág. 13.

²⁴ GAURAY y LATORRE CHATTERJEE. "MEMS based Inertial Measurement Units". En: *2015 Symposium on Design, Test, Integration and Packaging of MEMS/MOEMS (DTIP)*. IEEE. 2015, págs. 1-5.

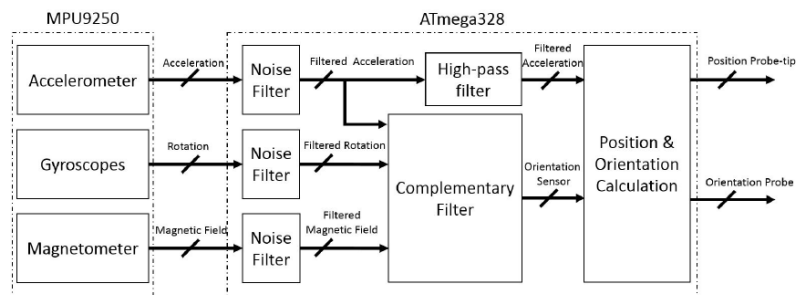
²⁵ Luc TREFFERS Charlotte y VAN Wietmarschen. "Position and orientation determination of a probe with use of the IMU MPU9250 and a ATmega328 microcontroller". En: (2016).

Figura 22. **Protocolo I2C**



El microcontrolador se comunica con el MPU9250 con el uso del bus I2C. I2C es un protocolo en serie para una interfaz de dos cables. La comunicación I2C utiliza los pines Serial Data (SDA) y Serial Clock (SCL) del MPU9250. El SCL proporciona el reloj de serie y el SDA proporciona los datos de serie. La dirección del MPU9250 se establece mediante el pin AD0. La dirección del AK8963 es 0x0C por defecto. Antes de que comience la comunicación, tanto el SCL como el SDA son altos, causados por resistencias pull-up. Estas resistencias pull-up se colocan para asegurarse de que ambos pines se vuelvan altos cuando el microcontrolador no los define, esto evitará problemas de comunicación cuando esté espere datos entrantes.

Figura 23. **Diagrama de adquisición para MPU9250**



En la figura 23 Se ofrece un resumen de los diferentes elementos del cálculo. Primero se leen los valores del MPU9250 con el uso del bus I2C. Los valores de las mediciones son ruidosos, especialmente de los acelerómetros y magnetómetros.

Para evitar que el ruido afecte el cálculo de posición y orientación, los valores de los sensores se filtran primero mediante un filtro de ruido. Después, los valores filtrados se combinan en el filtro complementario ²⁵ para obtener la orientación del MPU9250.

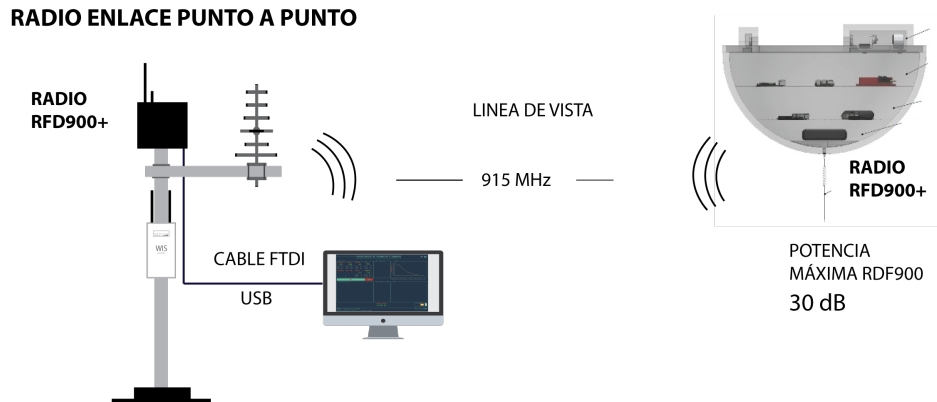
4. TRANSMISIÓN DE DATOS

4.1. RADIO ENLACE

La misión e3tratos requiere la transmisión de la información adquirida durante el vuelo por los sensores y otros instrumentos como GPS y unidades de medición inercial, en tiempo real y así monitorear variables atmosféricas y obtener la geolocalización de la estructura mecánica que soporta la carga útil. Para esto se realiza la implementación de transceptores hallados en el mercado con las características suficientes para cubrir el objetivo de la misión. Según ²⁶ se espera que la góndola elevada a la estratosfera por un globo de latex inflado con helio supere una altura de 20 km a una velocidad de 6.5 m/s. Durante el recorrido en el micro-computador de vuelo se organiza la información y se compacta en una trama de bits representada en formato ascii y se envía al transmisor a través del protocolo UART con módulos de Python.

²⁶ Andrés ESTEBAN Sergio. PITTA. "Diseño y construcción de la estructura mecánica, escudo térmico, sistema de elevación y sistema de descenso de un globo sonda estratosférico". En: Universidad Industrial de santander. 2019.

Figura 24. **Radio enlace GÓNDONLA - ESTACIÓN TERRENA**

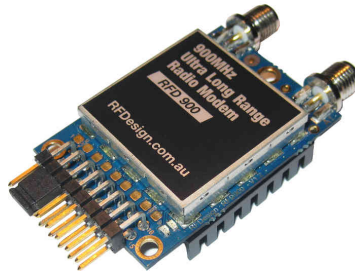


Para lograr el radio enlace se instala un transceptor RFD 900+ ²⁷ en la estación terrestre y otro en la carga útil del globo ²⁸. Cada uno de estos se configura con los parámetros que garantizan la comunicación y una transferencia sin pérdidas de paquetes de datos. En este proyecto se realiza la integración de este sistema de comunicación a la etapa de adquisición y visualización, se realizan pruebas con la configuración de fábrica de los radios y se verifica en la interfaz gráfica que se visualiza la información transmitida en un enlace punto a punto.

²⁷ *RFD900 Radio Modem Data Sheet*. RFDESIGN Pty Ltd. Mayo de 2013.

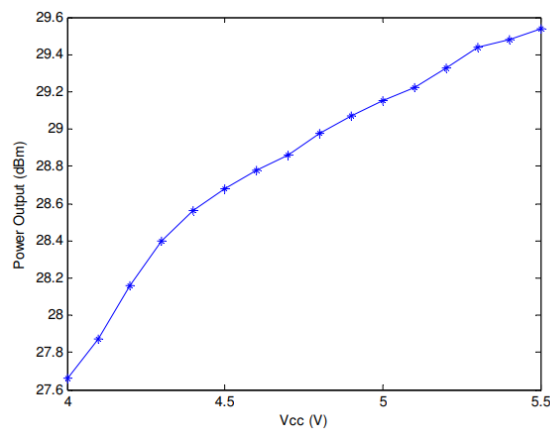
²⁸ GARCIA OLMEDO Uciel y SCHWEHR Daavid RUNNING CRANR Tristan. "2017 Eclipse RFD-900 Still Image System". En: (2017).

Figura 25. Radios RFD900+



4.1.1. Radio RFD 900+ El RFD900 tiene dos puertos SMA y un firmware que soporta operar con distintas antenas, sean yagi o mono polo de cuarto de onda. Durante la secuencia de transmisión, el radio verifica si las dos antenas están conectadas y selecciona la que entrega mayor intensidad de señal. Si solo hay una antena conectada se selecciona automáticamente este puerto.²⁷

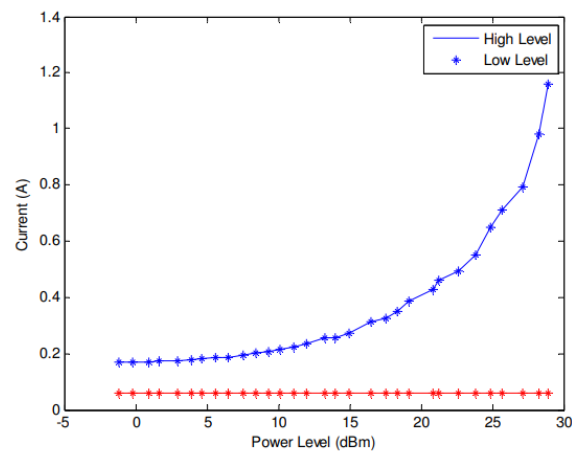
Figura 26. Voltaje de entrada Vs Potencia de salida



La potencia de salida de transmisor depende del voltaje de polarización del radio, el rango de operación admitido para establecer comunicación es de 4V a 5.5V para una potencia de transmisión en el rango de 27.6 dBm a 29.6 dB, como se muestra en la figura 26. Esto es importante tenerlo en cuenta debido a que la potencia del sistema está siendo suministrada por baterías, las cuales varían el voltaje según el nivel de carga, esto hace que la potencia disminuya también y por ende el rango RSSI.

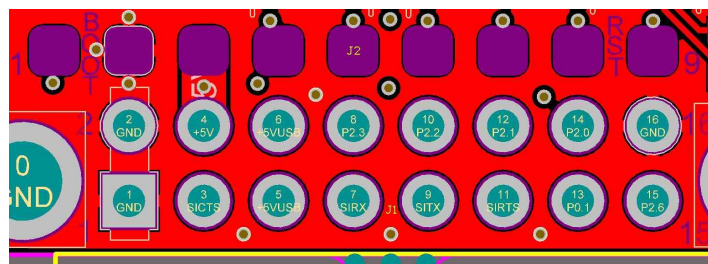
Si el valor RSSI de los transceptores está de bajo del mínimo para garantizar envío de información, se verá afectada la el alcance del radio enlace.

Figura 27. **Consumo de corriente Vs Potencia de salida**



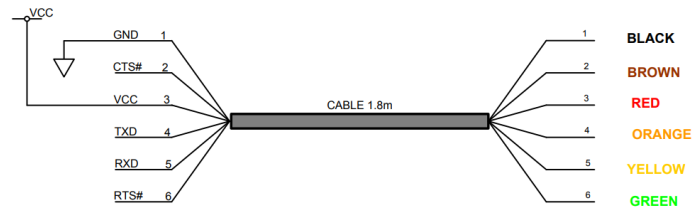
El consumo de corriente varía según la potencia y esta a su vez según la tasa de transmisión de datos. A mayor potencia mayor consumo de corriente como se muestra en la figura 27, el consumo de corriente también es directamente proporcional a la tasa de transmisión.

Figura 28. **Guía de pines físicos del Radio RFD900**



El radio tiene 6 GPIO's de propósito general, soporta entrada digital, PWM, y ADC. En este proyecto no se hace uso de estas características y se enfoca unicamente en los pines de comunicación serial Tx y Rx.

Figura 29. **Cable conversor TTL a USB para configuración del Radio RFD900**



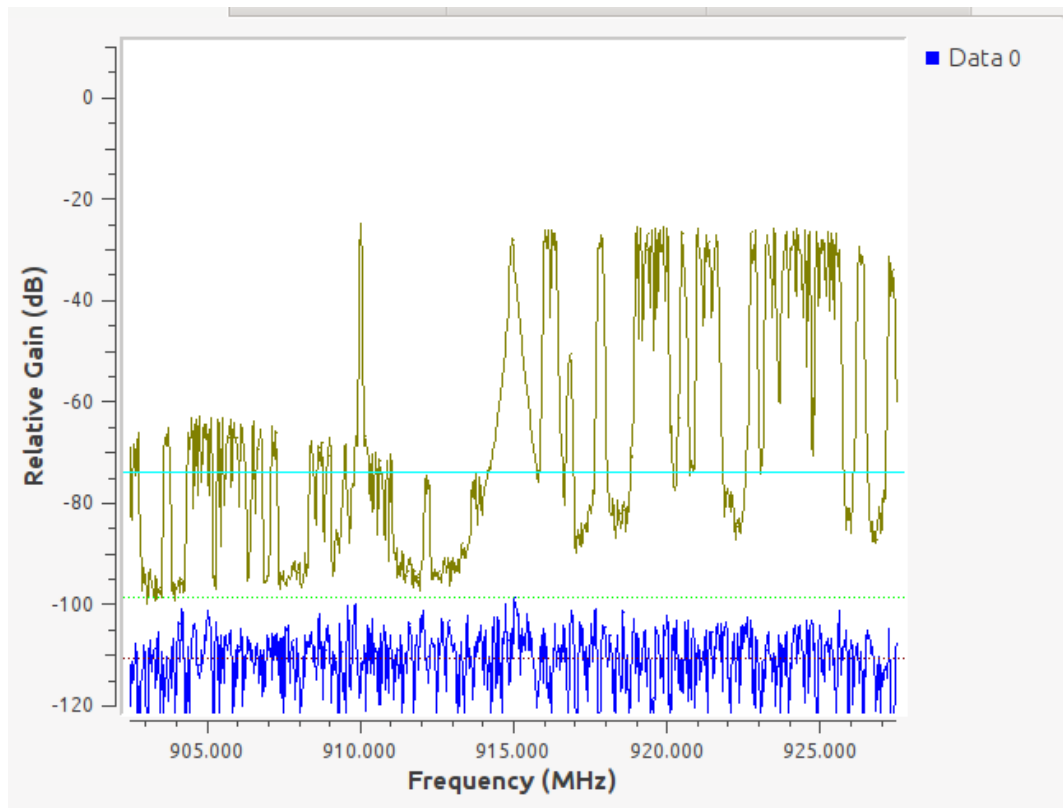
Para efectos de configuración de los parámetros del radio. El fabricante proporciona un cable FTDI conversor de TTL a USB, que conecta directamente a un computador personal para su configuración vía protocolo serial, existe un software desarrollado por el fabricante con interfaz gráfica que hace posible enviar parámetros de manera fácil. Allí se puede seleccionar la banda frecuencia de operación, potencia de transmisión, velocidad del enlace, reiniciar el dispositivo, actualizar versión del firmware, entre otras opciones.

Tabla 5. **Especificaciones técnicas del Radio RFD900**

<i>Características</i>	
RF tasas de transmisión	19, 24, 32, 48, 64, 96, 128, 192 and 250 kbit/s
Rango en interiores	500m ? 1km
Rango en línea de vista	40km o más según antenas
Potencia transmisión	0 a 30 dBm en pasos de 1 dBm
Sensitividad del receptor	-121 dBm
Corriente del receptor	90 mA
Corriente del transmisor	1 A a máxima potencia
Método de configuración	Comandos AT
Banda de frecuencia	902 - 928 MHz
Topologías soportadas	punto a punto, punto a multipunto

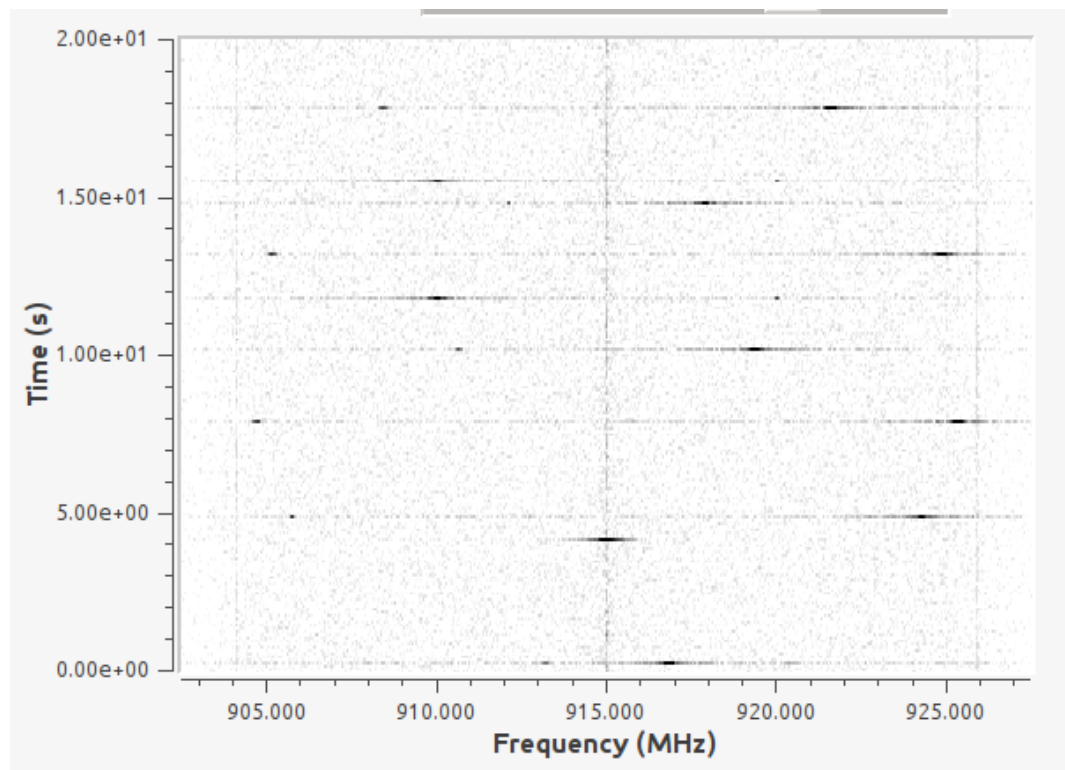
4.1.2. Rendimiento del radio RFD 900 El modem RFD900 emplea modulación FSK con salto de frecuencia como se muestra en la figura 30. Tomada con GNU radio software, y el radio NS210. Este tipo modulación hace mas eficiente la comunicación debido a que transmite simultáneamente el mismo mensaje por múltiples canales, de esta manera si un paquete se pierde quedan otros de respaldo, garantizando el éxito de la comunicación. Estos canales de frecuencias son asignados aleatoriamente, haciendo que transmisores de sintonizados a frecuencias cercanas puedan interferir. Como se puede observar, los picos de mayor potencia se encuentran ubicados en la banda de 915 a 928 MHz, esto debido a que esta fue la banda definida en los parámetros de configuración del radio. La cual es configurable en el rango de 868 a 928.

Figura 30. Espectro ensanchado por salto de frecuencia RFD900



En la gráfica tipo waterfall obtenida en GNU radio Software, se observan los puntos ubicados en las frecuencias de los canales que están siendo usados, el ancho del punto corresponde al ancho de banda del mensaje transmitido. De igual manera que en la gráfica anterior se observa con mayor intensidad los puntos que se encuentran dentro de la frecuencia de operación configurada en el radio RFD900.

Figura 31. **Gráfica Waterfall Modulación del radio RFD900**



Al aumentar la escala de visualización en la gráfica del espectro se observa dos picos de igual magnitud correspondientes a los cosenos de la modulación FSK.

Tabla 6. Consumo de corriente del Radio RFD900 para velocidad del enlace 64kbps

<i>Tramas por segundo</i>	<i>Corriente mA</i>
1	120
10	254
100	765

Al enviar una trama de 96 bytes con un canal configurado a 64 kbps. Al aumentar el ancho de banda del enlace aumenta el consumo de corriente, como se muestra en la tabla 6, las mediciones fueron realizadas configurando los radios con la potencia máxima de transmisión.

Tabla 7. Comandos AT para configuración del Radio RFD900+

<i>Campo</i>	<i>Significado</i>
ATI	Versión del radio
ATI2	Tipo de board
ATI3	Frecuencia de la board
ATI4	Versión de la board
ATI5	Parametros de EEPROM
ATI6	Reporte de sincronización TDM
ATI7	Reporte RSSI
ATIO	Salir del modo comandos AT
ATZ	Reinicia el radio

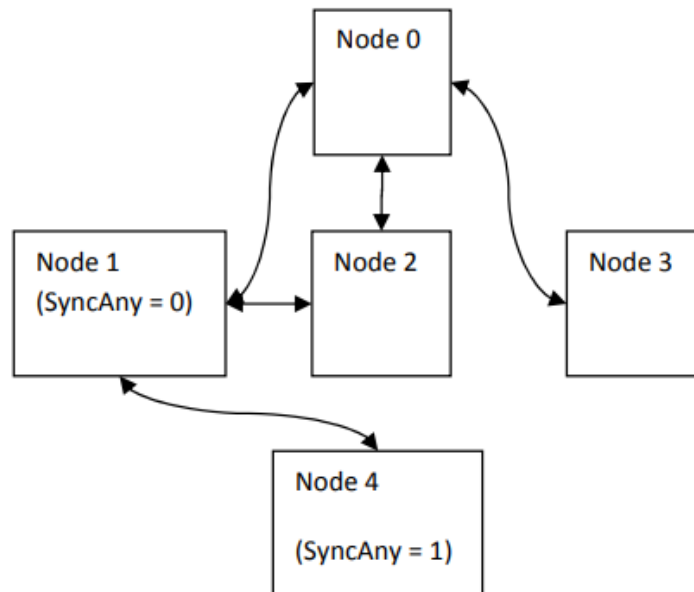
4.1.3. Configuración del radio La configuración del radio se realiza mediante el protocolo de comandos AT, como se mencionó anteriormente una forma de hacerlo es a través de la interfaz gráfica, otra es iniciar el radio en modo comandos

AT, enviando la cadena de caracteres "++". Un segundo después de enviar esta sentencia el radio deberá responder con la cadena de caracteres 'OK' esto indica que el inicio ha sido exitoso. Estando en este modo el radio queda inhabilitado para recibir o transmitir información desde o hacia otros radios. Aquí se pueden ingresar los comandos que se muestran en la tabla 7 y este responderá a las respectivas instrucciones que le sean dadas.

La configuración por defecto del radio permite alcanzar una distancia de 40km, por lo tanto se decide operar con dicha configuración dado que significa un magnitud suficiente para la misión. El protocolo UART para ingresar la trama de datos, tiene por defecto la siguiente configuración.

- 57600 Tasa de baudios
- No pariedad
- 8 bit de datos
- 1 bit de parada

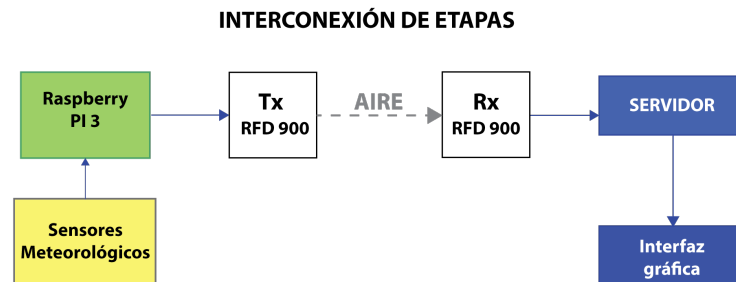
Figura 32. **RFD 900 Configuración punto-multipunto**



Es posible realizar conexión del radio instalado en la carga útil con otros radios que estén configurados en el mismo canal. Para esto se debe instalar la versión 2.0 del firmware dado que la versión 1.0 no soporta esta configuración. En la figura 32 se muestra una red 5 nodos. Si alguno de los nodos no tiene línea de vista con el nodo principal, este puede conectarse con otro nodo que si lo tenga y realizar la transmisión hacia el nodo base en modo puente. No obstante, esto reducirá el ancho de banda ²⁷.

4.2. TRANSMISIÓN DE TELEMETRÍA

Figura 33. Etapas de desarrollo en la misión



Una vez funcional la etapa de adquisición de variables en la Raspberry Pi3, se estructura la frase de transmisión para su envío con el protocolo serial al radio. Esta frase contiene todas las mediciones meteorológicas realizadas, variables del sistema que contienen, voltaje de salida de la fuente, consumo de corriente del sistema, temperatura interna, ángulos de Euler, fecha, hora, variable de identificación del conjunto de muestras correspondiente al número de lectura, y coordenadas de posicionamiento global.

```
"%E3T,1,-50,20,40,9,300,-20,4v9,750,10.30.-10,  
033416.00,11952.82288,E,2619.06271,N%UIS"
```

Se organizan los datos en una trama de caracteres en formato ascii, y se envían al transmisor con el módulo pyserial de python. La trama tiene como caracteres de inicio de trama %E3T y %UIS para indicar final de la trama. Con esto en la estación terrena se verifica que ha llegado la trama completa, para así incrustarla en la estructura json, como se muestra en la figura 37 para su posterior visualización. De cualquier forma la trama se almacena en el disco duro, si llegó correctamente se guarda en un directorio y sino, se guarda en otro directorio diferente para realizar

análisis en los errores de comunicación una vez finalizada la misión. En la tabla 8 se muestra el significado de cada uno de los valores de la trama separados por coma.

Tabla 8. **Frase de comunicación Carga útil**

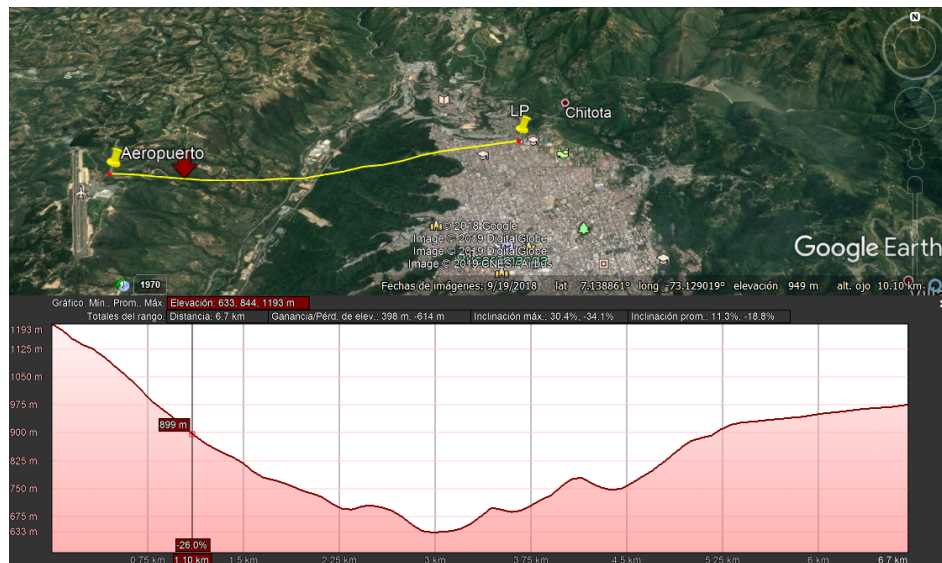
<i>Campo</i>	<i>Significado</i>
E3T	Caracteres de inicio de trama
1	Numero de lectura que corresponde la trama
-50	temperatura externa grados celcius
20	Co2 partes por millon ppm
40	NH4 partes por millon ppm
9	Material particulado micrometros
300	Presión barométrica pascales
-20	Temperatura interna celcius
4v9	Voltaje de salida en voltios
750	consumo de corriente miliamperios
10.30.-10	Angulos de euler x.y.z
2619.06271,N	Latitud: 26 grados 19.06271' N
11952.82288,E	Longitud: 119 grados 52.82288' E
170519	Fecha 2019/05/17
033416.00	03:34:16.00 UTC
%UIS	Final de trama

4.3. PRUEBAS DE TRANSMISIÓN

Para poner a prueba el correcto funcionamiento de la interconexión de las etapas de adquisición, transmisión y visualización de telemetría. Se realizan pruebas de transmisión de la lectura de sensores instalados en una replica de muestra de la estructura mecánica. Se realiza la transmisión desde puntos con linea de vista entre

dentro del campus universitario UIS. A través de los comandos AT, el radio permite conocer el indicador de fuerza de la señal (RSSI), lo cual brinda información de la señal de recibida por el receptor, en términos de un rango numérico comprendido entre 50 y 255. Si el indicador de fuerza de la señal muestra un valor por debajo de 60, existe una conexión una conexión entre los radios pero el radio enlace no es suficiente mente fuerte para transmitir información. En valores mayores y cercanos a 60, hay transmisión de información pero podría haber perdidas. Si el indicador de fuerza de la señal esta en 150, hay un enlace confiable ²⁹.

Figura 34. **Perfil de elevación prueba de transmisión**



Se realizó prueba de transmisión de transmisión desde el aeropuerto hasta el edificio de laboratorios pesados, ubicaciones con linea de vista entre sí y una distancia entre ella de 6.7 km y se recibió con éxito la trama de datos recibida.

²⁹ RFD900 Radio Modem Data Sheet. RFDESING Pty Ltd. Jun. de 2014.

5. INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIO

5.1. PLATAFORMA WEB IOT

Existen muchas áreas en donde el concepto IoT ³⁰ puede tener fuertes impactos. Distintas aplicaciones pueden ser clasificadas basadas según el tipo de disponibilidad de red, escala, cobertura e interacción con el usuario. Por ejemplo hogar, contexto empresarial, utilidades y dispositivos móviles. El cual permite acceso a información y que usuarios puedan interactuar remotamente con un elemento específico. En este caso, la carga útil de un globo sonda estratosférico. Gracias a la implementación de dispositivos electrónicos de bajo consumo de potencia, capaces de manejar protocolos de comunicación digitales y web. En este proyecto se aplica el concepto IoT a un sistema desarrollado para monitorear el estado del clima a través de las mediciones de un conjunto de sensores y permite que usuarios puedan acceder a la información almacenada en las bases de datos desde cualquier ubicación. Capacidad de monitorear la mediciones realizadas durante el tiempo de transmisión. En esta sección se describe los procedimientos para realizar una interfaz gráfica que puede ser accedida a través de una URL. Esta plataforma es una plataforma web alojada en el servidor web del Centro de Investigación Científica y Tecnológica en Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, CentroTIC de la Universidad Industrial de Santander

5.1.1. SERVIDOR DJANGO CENTROTIC En el Centro de Investigación Científica y Tecnológica en Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, CentroTIC

³⁰ LEE In y LEE Kyoochun. "The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises". En: *Business Horizons* 58.4 (2015), págs. 431-440.

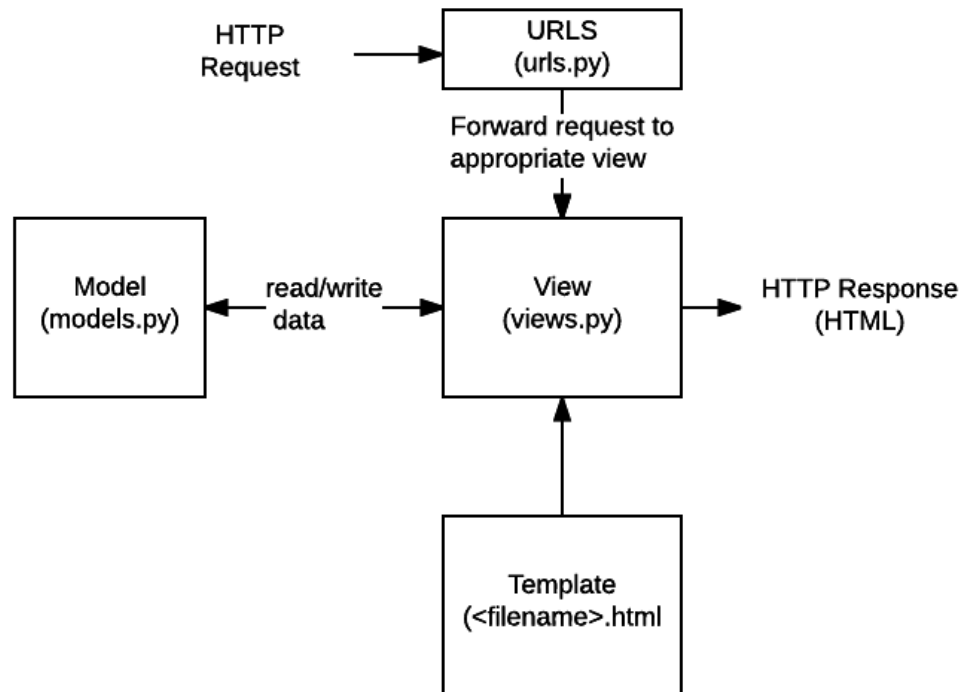
de la Universidad Industrial de Santander se encuentra en desarrollo una plataforma IoT multiproyectos que aloja los trabajos de investigación enfocados en el Internet de las cosas de diferentes grupos de investigación, entre ellos Radiogis y CEMOS. Esta plataforma es soportada por un servidor desarrollado en Python con la herramienta Django ³¹, un framework web de alto nivel que permite el desarrollo rápido de sitios web seguros y mantenibles, es gratuito y de código abierto, tiene una comunidad en crecimiento y activa, una amplia documentación. Esta plataforma aloja la interfaz gráfica web desarrollada para este proyecto. En la cual a través del protocolo HTTP se gestionan las peticiones para monitorear y almacenar en una base de datos Postgres toda la información asociada al monitoreo de la carga útil de la góndola.

Una aplicación web espera peticiones de un cliente. Las necesidades de dicho cliente están incrustadas en la URL que carga el navegador, esta información puede ser acceder a una página específica o cargar un tipo de información desde una base de datos, esto con el método GET. A su vez es posible enviar información desde el cliente, por ejemplo un formulario, esto, con el método POST. La aplicación en cualquier caso enviará una respuesta según el estado de la petición. La aplicación que aloja la interfaz gráfica de este proyecto agrupa los códigos de desarrollo que gestionan estas peticiones en carpetas o ficheros separados como se muestra en la figura 35.

En la carpeta URLS se encuentra un script `urls.py`, es un mapeador que redirige las peticiones HTTP a la vista apropiada basándose en la URL de la petición. La carpeta vista se encuentra el script `views.py`, gestiona peticiones por medio de una función que se encarga de recibirlas y devolver las respuestas pertinentes, acce-

³¹ HOLOVATY Adrian y KAPLAN-MOSS Jacob. *The definitive guide to Django: Web development done right*. Apress, 2009.

Figura 35. **Estructura de aplicación web Django**



diendo a los datos necesarios para satisfacer la petición a través de los modelos. Los Modelos, en la carpeta Model, son objetos de Python que definen la estructura de los datos de una aplicación y proporcionan mecanismos para gestionar (añadir, modificar y borrar) y consultar registros en la base de datos. La carpeta template, contiene los archivos html con la información de visualización y programación de la interfaz gráfica de e3tratos.

5.2. SERVIDOR WEB Y HTTP

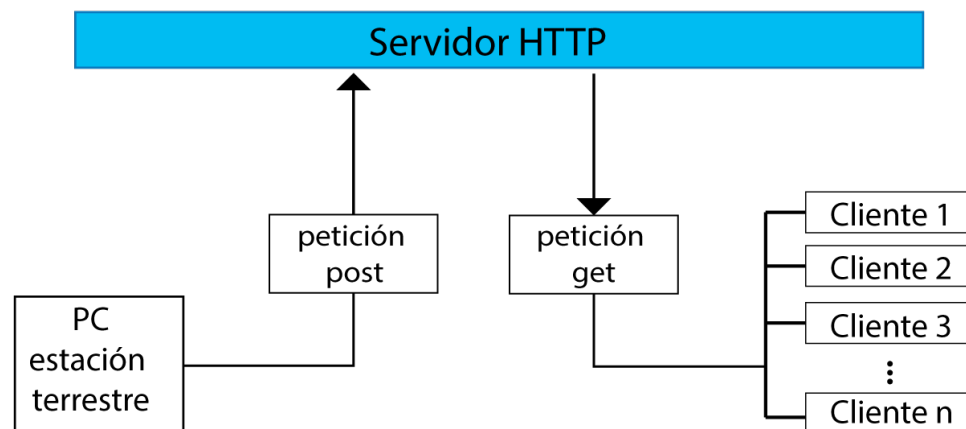
En el servidor web se almacenan los archivos que componen un sitio web, documentos HTML , imágenes, hojas de estilos CSS y archivos JavaScript y los entrega al dispositivo del usuario final. Está conectado a internet y es accesible a través de un nombre de un dominio, en este caso el dominio es una ip publica:

http://34.74.6.16/E3Tratos/GUI. Se encarga del control sobre como tienen acceso los usuarios a los archivos, por lo menos un servidor HTTP.

Un servidor HTTP ³² es software que comprende URLs (direcciones web) y siempre que un navegador necesite un archivo almacenado en un servidor web, el navegador lo solicita vía HTTP. Cuando la petición llega al servidor web, el servidor envía el archivo antes solicitado, también a través de HTTP.

HTTP proporciona reglas acerca de cómo se comunican un cliente y un servidor. Para iniciar comunicación cliente-servidor, abre una conexión TCP y realizar peticiones. Estas se realizan en formato de texto plano para la versión HTTP/1.1 o estructurados en formato binario para la version HTTP/2.

Figura 36. **Manejo de peticiones por el servidor para la interfaz gráfica.**



El computador de la estación terrestre es el encargado de adquirir los datos del transceptor y convertirlos en un diccionario de formato JSON para ser enviado al servidor con una petición POST a través de la cabecera de autenticación ³³ utilizan-

³² GETTYS Jim y MOGUL Jeffrey FIELDING Roy. *Hypertext transfer protocol–HTTP/1.1*. Inf. téc. 1999.

³³ HALLAM-BKER Phillip y HOSTTELER Jeffrey FRANKS John. *HTTP authentication: Basic and*

do como intermediario el módulo de Python requests.

5.2.1. Método POST Para realizar petición POST al servidor de centro tic con la información recibida por el transceptor se hace uso del modulo request de python, que contiene una clase requests con los metodos y atributos que constituyen el formato de mensaje del protocolo HTTP.

```
import requests

post = requests.post(url = 'http://34.74.6.16/api-data',
data='estructura.json'
auth=(token 34j934592hgjs4ncbkhsdft))
```

El servidor cuenta con una api que permite enviar peticiones post de manera privada autenticado el cliente que la realiza con una clave llamada token, de esta manera solo quien se autentique con este token podrá tener una respuesta positiva del servidor y almacenar la información enviada en la base de datos. Esto evita que cualquier cliente almacene indebidamente información colapse la base de datos.

Uno de los parámetros del método post en el modulo requests es la variable data, que contiene en su interior un diccionario cuyas claves son los nombres de las variables medidas y sus respectivos valores son la medición en si como se muestra en la siguiente figura.

digest access authentication. Inf. téc. 1999.

Figura 37. Variables en formato json

```
{
  "id":1,
  "meteorologia":{
    "Temperatura_ext":-50,
    "Co2":"20 ppm",
    "NH4":"40 ppm",
    "Mat.Part":"90 um",
    "Presion_bar":"300 Pa"
  },
  "sistema":{
    "Temperatura_int":-20,
    "Vout":"4.9 V",
    "Iout":"750 mA",
    "Euler_Angulos":{
      "x":"10 °",
      "y":"30 °",
      "z":"-10 °"
    },
    "GPS":{
      "Hora":"033416.00",
      "fecha":"170519",
      "lng":"11952.82288,E",
      "lat":"2619.06271,N",
    }
  }
}
```

5.2.2. Método GET Se realiza un método GET a una URL asociada que contiene un archivo en formato json, en este se encuentra almacenado un vector, con cada uno de los diccionarios enviados en el método POST. Esta petición es realizada por el cliente que consulta la url de la interfaz gráfica de manera inmediata.

```
var xhttp = new XMLHttpRequest();
xhttp.responseType = "json";
```

```

xhttp.onreadystatechange = function() {
if (this.readyState == 4 && this.status == 200) {
globaljson = this.response.datos;
globaljson = globaljson[globaljson.length-1];}
};
xhttp.open("GET", "http://34.74.6.16/E3Tratos/datos-json", true);
xhttp.send();

```

La programación del sitio está desarrollada en lenguaje javascript, por esto para realizar esta petición se implemento el objeto XMLHttpRequest³⁴ el cual devuelve como respuesta el archivo en la URL= 'http://34.74.6.16/E3Tratos/datos-json'. manejable por el entorno del lenguaje para su posterior visualización en los elementos del archivo html.

5.3. DESARROLLO Y PROGRAMACIÓN DE LA PLATAFORMA

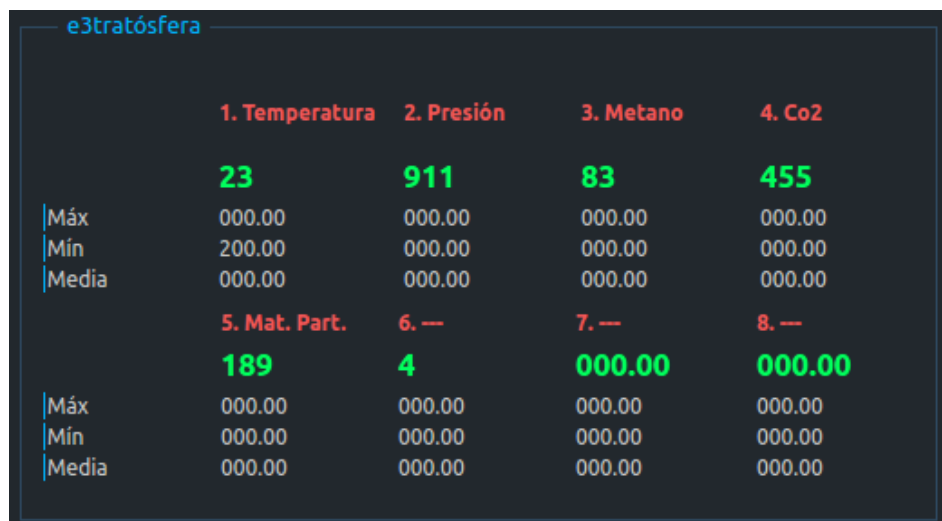
La interfaz gráfica de monitoreo está desarrollada con tres lenguajes de desarrollo web. HTML, CSS, Javascript. En un archivo GUI.html se encuentran definidos todos los elementos con conforman la interfaz, es decir. Tablas, gráficas, mapas de google, entre otros. Este archivo se encarga de conectar con el archivo CSS. El cual asigna a los elementos descritos en html, los colores, tamaños tipos de letra y además se define la responsividad y adaptabilidad con dispositivos móviles. El archivo js contiene toda la programación de la interfaz. Se encarga de realizar la petición de la información de visualización al servidor e insertarla en los elementos definidos en html y gráficarlos en la sección de gráficas. A su vez maneja la api de google maps,

³⁴ DEAN VAN Kesteren y Anne y JACKSON. "The xmlhttprequest object". En: *World Wide Web Consortium, Working Draft WD-XMLHttpRequest-20070618* 72 (2007).

donde se muestra la ubicación de la góndola durante el tiempo de transmisión. Por otra parte, se añadió a este diseño un renderizado en 3D de la estructura mecánica que emula la actitud de la góndola permitiendo ver los ángulos de euler, pitch, roll, y yaw obtenidos por la IMU instalada en la carga útil.

5.3.1. Visualización de variables La visualización de las variables se hace con la definición de tablas que contienen elementos que posteriormente son llamados por archivos javascript para incrustarle dinámicamente, los valores enviados por el servidor, la tasa de visualización depende cada cuanto el vector de valores es solicitado al servidor. Para esta versión de la plataforma se ha fijado en 1 petición por segundo, pero esta puede variar según los requerimientos e intereses del administrador de la interfaz. También esta sujeto a la capacidad del servidor, desde el punto de vista de los recursos de hardware.

Figura 38. **Visualización de los valores de variables meteorológicas**



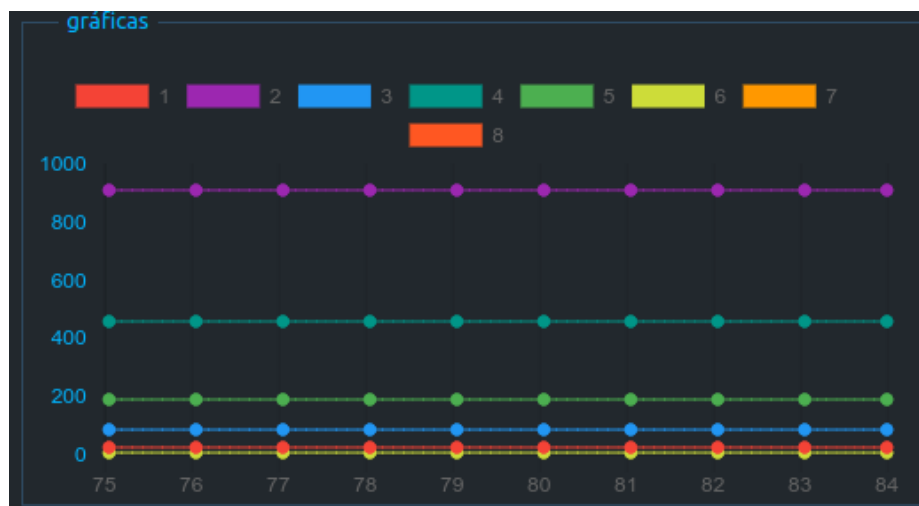
	1. Temperatura	2. Presión	3. Metano	4. Co2
	23	911	83	455
Máx	000.00	000.00	000.00	000.00
Mín	200.00	000.00	000.00	000.00
Media	000.00	000.00	000.00	000.00
	5. Mat. Part.	6. —	7. —	8. —
	189	4	000.00	000.00
Máx	000.00	000.00	000.00	000.00
Mín	000.00	000.00	000.00	000.00
Media	000.00	000.00	000.00	000.00

La cantidad de variables a visualizar en la interfaz gráfica no tiene restricción en el diseño. Es decir este puede mostrar la cantidad requerida, debido a que el diseño es adaptativo. Sin embargo, al aumentar la cantidad de variables aumenta el

tamaño del archivo de peticiones POST y GET, lo que podría afectar la velocidad de comunicación en el servidor web.

5.3.2. Gráfica de variables Las gráficas de variables están basadas en la librería chart.js de código abierto, donde se puede mostrar la cantidad de gráficas simultáneas y definir la escala, la cantidad de ejes, y estilos de las mismas. Se define un elemento canvas con las dimensiones de interés en el documento html y desde el script mychart.js llamar el elemento por la variable id y asignar el objeto. Dentro de este deben estar previamente definidos las variables a graficar.

Figura 39. **Gráfica de variables en la interfaz gráfica**



Se visualizan las gráficas de todas las variables medidas, se muestran las 10 últimas lecturas enviadas al servidor. Los ejes se ajustan automáticamente a la magnitud de la medida. Al hacer clic en el cuadro del color de la gráfica, esta se desactiva, permitiendo al usuario visualizar únicamente las gráficas de interés.

5.3.3. Posicionamiento en Google MAPS El Google Maps lanzado en 2005 ha revolucionado el servicio de mapeo de aplicaciones en línea. Basado en JavaScript asíncrono y XML (AJAX), un nuevo tipo de La interacción cliente/servidor se intro-

dujo en Google Maps para mantener una conexión continua entre el cliente y el servidor para descarga inmediata de mapas adicionales ³⁵. Además, Google también proporciona a los programadores sus extensas fuentes de código llamadas Interfaz de programación de aplicación (API). La API consiste en un conjunto de datos estructuras, clases de objetos o funciones que pueden ser utilizadas por un programador utilizando JavaScript, son construcciones disponibles en los lenguajes de programación que permiten a los desarrolladores crear funcionalidades complejas de una manera simple. Estas abstraen el código más complejo para proveer una sintaxis más fácil de usar en su lugar.

Figura 40. **Mapa de seguimiento y gelocalización de la góndola**



En este trabajo se implementa esta API para actualizar y visualizar la posición de la góndola según las coordenadas obtenidas por el gps de la misión.

5.3.4. Renderizado 3D de la Góndola En el diseño de esta interfaz gráfica se incluyó un modelo 3D de la estructura mecánica²⁶. El diseño 3D de la góndola fue desarrollado en Solid Works.

³⁵ PETERSON Michael P. *Online maps with APIs and WebServices*. Springer Science & Business Media, 2012.

Anteriormente, para generar contenido dinámico en 3D en navegadores web, era necesario utilizar aplicaciones Java que junto con applets eran usados para procesar gráficos en 3D. Estas applets requieren una máquina virtual de Java, lo cual concurría en consumo de altos recursos de procesamiento y trabajo de programación de alta complejidad. Posterior a esto nació una API desarrollada por Adobe, ofreciendo hardware de GPU acelerado, convirtiéndose en una mejor opción pero debido al acaparamiento de la licencia de Adobe nunca se estandarizó. En 2011 es lanzado WebGL, un openware que puede ejecutarse sin una máquina virtual, y que es soportado por el navegador sin necesidad de instalar algún tipo de widget.

WebGL ³⁶ permite que el contenido web utilice una API basada en OpenGL ES 2.0 para llevar a cabo la representación 2D y 3D en un elemento canvas HTML en los navegadores que lo soporten sin el uso de plug-ins. WebGL consiste en código de control escrito en JavaScript que se ejecuta en la unidad de procesamiento gráfico de una computadora (GPU). Los elementos WebGL se pueden mezclar con otros elementos HTML y componerse con otras partes de la página o el fondo de la misma.

Existen librerías que usan la API de WebGL y hacen más fácil la tarea de generar contenido en 3D, para este trabajo se implementó la librería Three.js ³⁷ de código abierto. Esa librería permite importar una nube de puntos en formato obj del diseño 3D desarrollado en SolidWorks.

```
var objLoader = new THREE.OBJLoader();  
objLoader.setMaterials( materials );
```

³⁶ Tony PARISI. *WebGL: up and running*. "O'Reilly Media, Inc.", 2012.

³⁷ Jos DIRKSEN. *Learning Three.js: the JavaScript 3D library for WebGL*. Packt Publishing Ltd, 2013.

```

objLoader.load( '../static/E3Tratos/assets/js/model/gondola2.obj',

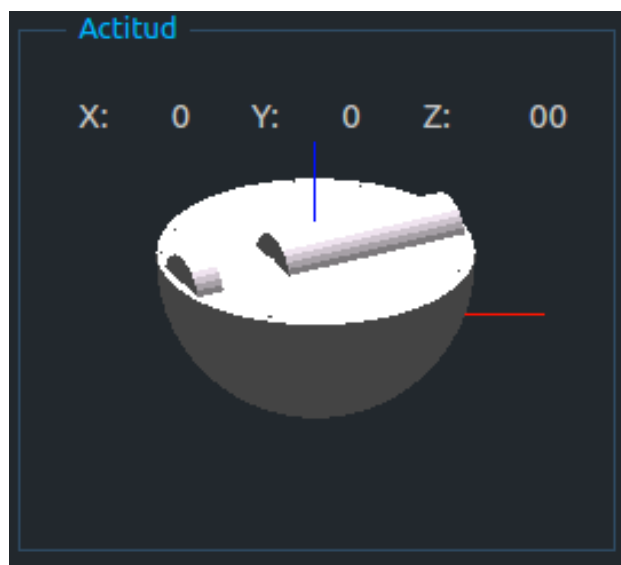
function ( object ) {
object.children[0].geometry.computeFaceNormals();
var geometry = object.children[0].geometry;

geometry.center()
geometry.dynamic = true;
var material = new THREE.MeshLambertMaterial({color: 0xffffffff});
mesh = new THREE.Mesh(geometry, material);
scene.add( mesh )
});

```

Para iniciar con el generado del solido se llaman los constructores de objetos, para la escena, la cámara, el ambiente, y el solido. Estos permiten configurar la ubicación de la cámara, del solido, los colores del fondo, el material y la textura del solido.

Figura 41. **Render 3D de la góndola en la interfaz gráfica**



Para actualizar los ángulos de Euler se instancia un objeto con la clase mesh donde se establecen la geometría del solido. Posterior a esto con la función `requestAnimationFrame`, llama dentro de un ciclo repetitivo la función que actualiza dichos ángulos por medio del método `rotation` los atributos `x`, `y`, `z`. Estos valores tienen asignado el valor enviado al servidor con intervalos de tiempo de un segundo y leído por el script que realiza la petición GET de toda la interfaz.

6. RECOMENDACIONES

En el mercado existen microcontroladores con la capacidad suficiente para ejecutar las tareas que se realizan, como es el caso de la lectura de módulos de sensores a través de protocolos de comunicación digital. Estos microcontroladores presentan un bajo consumo de corriente y recursos computacionales específicos para distintos tipos de aplicación. Se recomienda hacer una revisión e implementación de uno más adecuado que pueda reemplazar al actual. Por otra parte, se recomienda desarrollar una interfaz gráfica de apoyo basada en QT para lograr tasas de visualización de datos mayores y poder monitorear la carga útil con más detalle en tiempo real.

7. TRABAJO FUTURO

Las antenas implementadas son monopolos de cuarto de onda que irradian energía en todas las direcciones. Sin embargo para lograr obtener mayor alcance, se hace uso de una antena direccional Yagi de 11 dB. En términos del desarrollo de la misión, el globo sonda seguiría la dirección del viento dado que no tiene un sistema de control del vuelo, por esto, es necesario implementar en la estación terrena una etapa de seguimiento de las antenas, esto es, conseguir que la estructura que soporta las antenas terrestres pueda girar auténticamente su base a través de motores para que la antena yagi este siempre apuntando hacia el globo. Para lograr esto se pretende implementar un Rastreador satelital que brindaría acceso a las coordenadas de ubicación del mismo sin comunicación en línea de vista. Algoritmos desarrollados en una raspberry pi determinarían con precisión el ángulo de rotación para ubicar las antenas.

En este trabajo no realizan el procesos de calibración de los sensores, mas sin embargo, es indispensable obtener con precisión las mediciones de los gases, de metano y CO₂. Por tanto, forma parte del trabajo futuro instrumentar la carga útil, con instrumentos calibrados bajo entornos controlados de, por ejemplo, metano y CO₂ o en su defecto, instrumentar con sensores de mayor calidad calibrados de fabrica y con certificación.

Este trabajo representa el inicio de un prototipo funcional, que cumple con los objetivos planteados durante la planificación del mismo. No obstante, se busca acercarlo en gran medida a un sistema más completo, que pueda ser generalizado y adaptable a distintos intereses, hasta el punto de constituir un producto con un espacio sólido en el mercado.

Hasta este punto la comunicación góndola-estación terrestre es unidireccional, solo se realizan transmisiones desde la góndola. Sin embargo, la tecnología de los radios RFD900 permite comunicación full duplex, permitiendo envíar ordenes hacía la góndola para por ejemplo activar el obturador de una camara, o el inicio rotatorio de un motor. Hace parte del trabajo futuro, expandir el software y hardware para cumplir con estas metas.

La interfaz gráfica, solo realiza la función de visualizar y descargar información, por lo tanto, se propone ampliar su funcionalidad permitiendo que los investigadores administradores de la plataforma puedan envíar comandos de configuración de los radios, activar actuadores, desconectar sensores, entre otras acciones más a través de dicha plataforma.

8. CONCLUSIONES

- El software desarrollado e integrado en este proyecto, permite agregar nuevos componentes de medición referentes a nuevas misiones, es decir, es posible agregar nuevos sensores e integrarlos a la estructura de datos empleada para la transmisión y visualización en la interfaz gráfica.
- Tener como herramienta de visualización una interfaz gráfica web, basada en el Internet de las cosas brinda la posibilidad a cientos de interesados a participar simultáneamente del monitoreo de las mediciones realizadas durante el vuelo y también la descarga de todos los datos adquiridos en formato cvs. En contraste a esto, los servidores web podrían tener limitaciones en la velocidad de respuesta a las peticiones incurriendo en que solo se pueda visualizar datos una vez por segundo, sin embargo esto puede superarse aumentando la capacidad en recursos de hardware y software del servidor teniendo en cuenta que esto elevaría los costos.
- El radio RFD 900, presenta confiabilidad en la transmisión de información debido al tipo de modulación que maneja, espectro ensanchado por salto de frecuencia, enviando el mismo mensaje por varios canales aprovechando el su corto ancho de banda. Por otra parte consultando el valor RSSI podemos determinar la calidad de la señal del radioenlace y aprovechar esto para reconfigurar los parámetros del radio a través de los comandos AT, es decir, cuando el valor RSSI se encuentre rondando el límite del margen de sensibilidad del receptor, se reconfigura automáticamente una velocidad del enlace menor para obtener mayor alcance teniendo en cuenta que esto disminuirá el ancho de banda del canal.

BIBLIOGRAFÍA

- BARROS, Tobinon. "Desarrollo de un sistema automatizado de extracción de dióxido de carbono (co2) para el laboratorio de electrónica de la empresa Telcos Ingenieria SA". Tesis doct. Universidad del Magdalena, 2018 (vid. pág. 38).
- CAJAS E.J, Y. ARMAS. "Artículo Científico-Diseño e implementación de un prototipo de módulo para visualizar por medio de Touch Screen, PC y dispositivos móviles curvas características de sensores de temperatura en el rango de 0 a 200 c, para el Laboratorio de circuitos electrónicos de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga." En: (2015) (vid. pág. 30).
- CHATTERJEE, GAURAY y LATORRE. "MEMS based Inertial Measurement Units". En: *2015 Symposium on Design, Test, Integration and Packaging of MEMS/MOEMS (DTIP)*. IEEE. 2015, págs. 1-5 (vid. pág. 42).
- CHEN CHING-Ju. CHEN JOU-An., HUAN Y YUE-Min. "INTELLIGENT ENVIRONMENTAL SENSING WITH AN UNMANNED AERIAL SYSTEM IN A WIRELESS SENSOR NETWORK." En: *International Journal on Smart Sensing & Intelligent Systems* 10.3 (2017) (vid. pág. 37).
- CORBET Jonathan, RUBINI Alessandro y. *Linux device drivers*. .o'Reilly Media, Inc.", 2001 (vid. pág. 35).
- Digital universal particle concentration sensor*. SCAQMD, South Coast Air Quality Management District. Jun. de 2016 (vid. pág. 38).

DIRKSEN, Jos. *Learning Three.js: the JavaScript 3D library for WebGL*. Packt Publishing Ltd, 2013 (vid. pág. 68).

DUSEN, MS Van. "Platinum-resistance thermometry at low temperatures¹". En: *Journal of the American Chemical Society* 47.2 (1925), págs. 326-332 (vid. pág. 31).

ESTEBAN Sergio. PITTA, Andrés. "Diseño y construcción de la estructura mecánica, escudo térmico, sistema de elevación y sistema de descenso de un globo sonda estratosférico". En: Universidad Industrial de santander. 2019 (vid. págs. 23-26, 45, 67).

FIELDING Roy., GETTYS Jim y MOGUL Jeffrey. *Hypertext transfer protocol—HTTP/1.1*. Inf. téc. 1999 (vid. pág. 61).

FRANKS John., HALLAM-BKER Phillip y HOSTTELER Jeffrey. *HTTP authentication: Basic and digest access authentication*. Inf. téc. 1999 (vid. pág. 61).

GILL, Adrian. E. *Atmosphere?ocean dynamics*. Elsevier, 2016 (vid. pág. 20).

JACKSON, DEAN VAN Kesteren y Anne y. "The xmlhttprequest object". En: *World Wide Web Consortium, Working Draft WD-XMLHttpRequest-20070618* 72 (2007) (vid. pág. 64).

KAPLAN-MOSS Jacob, HOLOVATY Adrian y. *The definitive guide to Django: Web development done right*. Apress, 2009 (vid. pág. 59).

LANGLEY, RICHARD B. "NMEA 0183: A GPS receiver interface standard". En: *GPS world* 6.7 (1995), págs. 54-57 (vid. pág. 40).

LEE Kyoochun, LEE In y. "The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises". En: *Business Horizons* 58.4 (2015), págs. 431-440 (vid. pág. 58).

LUO, JING-CHUN y TSAI. "A prototype design of a smart and portable coastal fisheries assistant system". En: () (vid. pág. 41).

MAX31865 RTD-to-Digital Converter. 19-6478. Rev. 3. MAXIM INTEGRATED. Jul. de 2015 (vid. pág. 31).

MERCHAN Nelson, CAYAOCHOA Heiner y. "Diseño del sistema de instrumentación de la misión E3Tratos para medir concentración de gases atmosféricos mediante el método de espectroscopia láser de diodo sintonizable". En: Universidad Industrial de santander. 2018 (vid. pág. 22).

NASA, CALIPSO. "Altura'Vertical'de'la'Atmósfera:"Visión'General". En: (2005), págs. 1-24 (vid. pág. 21).

Nath, Jayanta Kumar, Sharmila Sharma y Kanak Chandra Sarma. "A Comparative Study of Accuracy Improvement of Temperature Measurement with PT100 and PT1000 for Wider Range". En: () (vid. pág. 31).

OSNAYA Patricia, MARTINEZ fernandez y. *Cambio climático: una visión desde México*. Instituto Nacional de Ecología, 2004 (vid. pág. 21).

P, PETERSON Michael. *Online maps with APIs and WebServices*. Springer Science & Business Media, 2012 (vid. pág. 67).

PARISI, Tony. *WebGL: up and running*. "O'Reilly Media, Inc.", 2012 (vid. pág. 68).

RFD900 Radio Modem Data Sheet. RFDESIGN Pty Ltd. Mayo de 2013 (vid. págs. 46, 47, 54).

RFD900 Radio Modem Data Sheet. RFDESING Pty Ltd. Jun. de 2014 (vid. pág. 57).

RUNNING CRANR Tristan., GARCIA OLMEDO Uciel y SCHWEHR Daavid. “2017 Eclipse RFD-900 Still Image System”. En: (2017) (vid. pág. 46).

SALAS Fernando, PINEDA Gustavo y. “Diseño de un prototipo de medición de la actitud en Tierra de un pico-satélite de estándar CubeSat”. En: Universidad Industrial de Santander. 2018, pág. 13 (vid. pág. 42).

SMITH, Stephen. *MAX31865*. <https://github.com/steve71/MAX31865.git>. 2017 (vid. pág. 28).

SUN Wenbo, FU Qiang y. “Mie theory for light scattering by a spherical particle in an absorbing medium”. En: *Applied Optics* 40.9 (2001), págs. 1354-1361 (vid. pág. 37).

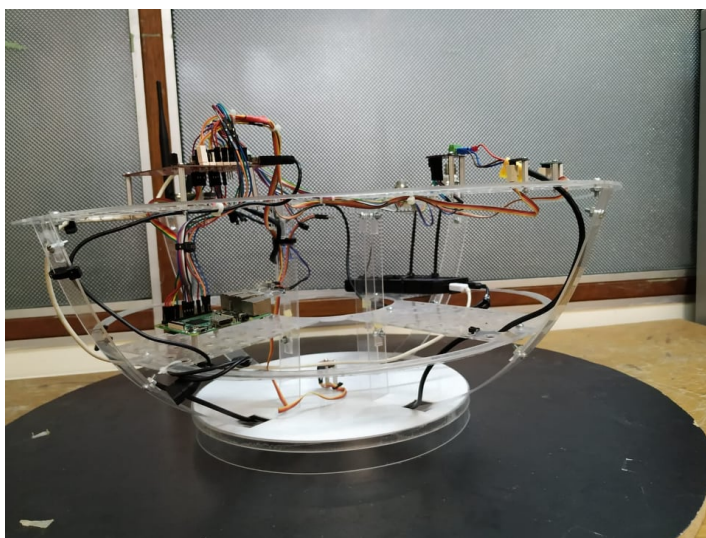
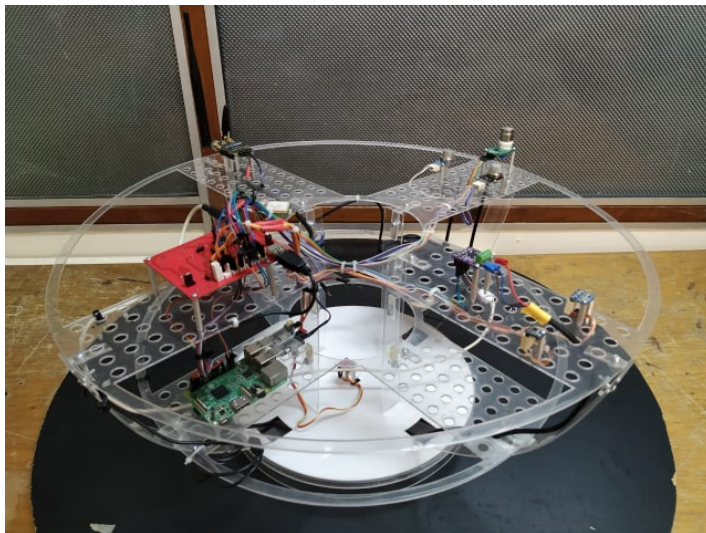
VAN Wietmarschen, Luc TREFFERS Charlotte y. “Position and orientation determination of a probe with use of the IMU MPU9250 and a ATmega328 microcontroller”. En: (2016) (vid. págs. 42, 44).

ANEXOS

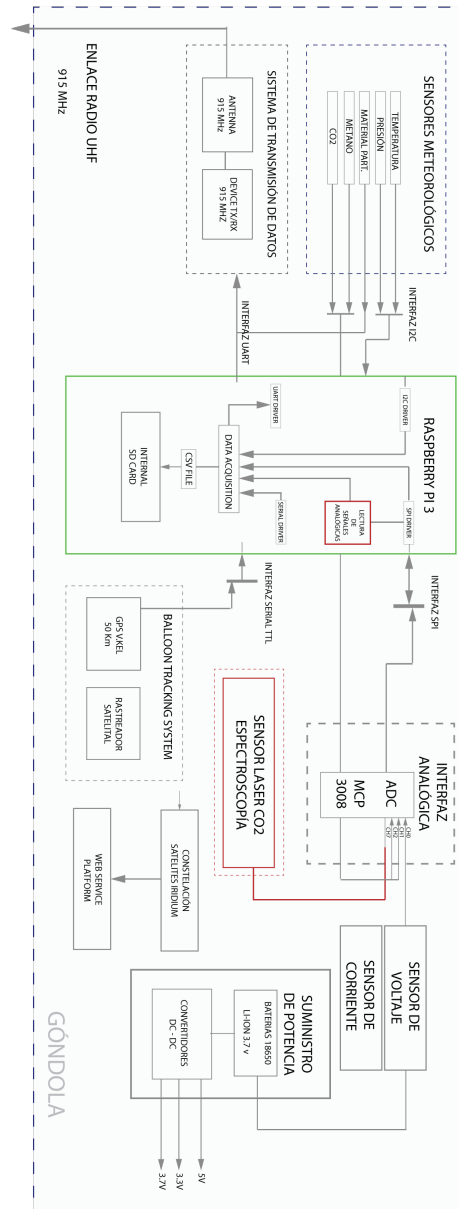
Anexo A. Montaje de las 3 etapas principales del proyecto



Anexo B. Montaje de instrumentos en prototipo de prueba



Anexo C. Diagrama de conexiones de los elementos que conforman la carga útil seleccionada para el proyecto



Anexo D. Diagrama de conexiones de los elementos que conforman estación terrena seleccionada para el proyecto

