

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias e Ingenierías**

**Diseño de un sistema mecánico-electrónico para un detector  
híbrido de astro partículas**

**Lenin Andrés Barrera Gutiérrez**

**Ingeniería Electrónica**

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito  
para la obtención del título de  
Ingeniero Electrónico

Quito, 30 de diciembre de 2021

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias e Ingenierías**

**HOJA DE CALIFICACIÓN  
DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA**

**Diseño de un sistema mecánico-electrónico para un detector  
híbrido de astro partículas**

**Lenin Andrés Barrera Gutiérrez**

**Nombre del profesor, Título académico**

**Dennis Cazar Ramirez, Ph.D.**

Quito, 30 de diciembre de 2021

## © DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Lenin Andrés Barrera Gutiérrez

Código: 00136081

Cédula de identidad: 1311983991

Lugar y fecha: Quito, 30 de diciembre de 2021

## **ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN**

**Nota:** El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETheses>.

## **UNPUBLISHED DOCUMENT**

**Note:** The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETheses>.

## RESUMEN

En el presente trabajo es una colaboración con LAGO y describe el diseño mecánico y electrónico de un detector de astro partículas el cual se instalará en un clima extremo a una altura aproximadamente de 4800msnm. El sistema mecánico se basa en un tanque de acero inoxidable remodelado, dos tapas (exterior y superior) las cuales sirven para proteger a los componentes electrónicos. El sistema electrónico gira en torno a la Red Pitaya Stemlab125-14 y a un fotomultiplicador el cual es el encargado de detectar las astro-partículas. El sistema eléctrico describe la puesta a tierra y la seguridad de los componentes electrónicos con estándares industriales.

**Palabras clave:** Astro partículas, Detector Cherenkov, Red Pitaya, Fotomultiplicador, LAGO, Detector, Raspberry Pi 4.

## **ABSTRACT**

In the present work is a collaboration with LAGO and describes the mechanical and electronic design of an astro-particle detector which will be installed in an extreme climate at an altitude of approximately 4800msnm. The mechanical system is based on a remodeled stainless-steel tank, two covers (outer and upper) which serve to protect the electronic components. The electronic system revolves around the Red Pitaya Stemlab125-14 and a photomultiplier which is in charge of detecting astro-particles. The electrical system describes the grounding and safety of electronic components with industry standards.

Keywords: Astro Particles, Cherenkov Detector, Red Pitaya, Photomultiplier, LAGO, Detector, Raspberry Pi 4.

# Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>10</b>
<b>2. Diseño Electrónico</b>	<b>11</b>
2.1. Fotomultiplicador (PMT) . . . . .	11
2.2. RedPitaya Stemplab125-14 . . . . .	12
2.3. Tarjeta de Interface . . . . .	13
2.4. Módulo GPS y módulo Presión y Temperatura . . . . .	15
2.5. RaspberryPi4 . . . . .	15
2.6. Diagrama de bloques . . . . .	17
<b>3. Diseño Mecánico</b>	<b>17</b>
3.1. Elementos diseñado para el tanque . . . . .	18
3.1.1. Tapa exterior . . . . .	19
3.1.2. Tapa Interior . . . . .	19
3.1.3. Malla difusora . . . . .	21
3.1.4. Cajas Electrónicas . . . . .	21
3.2. Tanque final modelado . . . . .	22
<b>4. Diseño Eléctrico</b>	<b>23</b>
4.1. Sistema de alimentación ininterrumpida . . . . .	23
4.2. Ventilación del sistema . . . . .	24
4.3. Puesta a tierra del sistema . . . . .	24
<b>5. Presupuesto</b>	<b>24</b>

6. Conclusiones	25
7. Referencias	27

## Índice de figuras

1.	Estructura básica de un PMT . . . . .	12
2.	RedPitaya Stemplab125-14 . . . . .	13
3.	Esquemático de la tarjeta de interface . . . . .	14
4.	Tarjeta de interfase física . . . . .	14
5.	RaspberryPi 4 y SSD . . . . .	16
6.	Raspberry Shield 3G/4G/LTE . . . . .	16
7.	Diagrama electrónico del sistema . . . . .	17
8.	Tanque real vs tanque modelado . . . . .	18
9.	Modelado: Tapa Exterior . . . . .	19
10.	Modelado:Tapa Interior . . . . .	20
11.	Modelado: Malla Difusora . . . . .	21
12.	Modelado: Caja Electrónica . . . . .	22
13.	Modelado: Progresión del modelado del tanque . . . . .	23

## 1. Introducción

La investigación sobre rayos cósmicos es actualmente una de las áreas más activas en el mundo científico. Desde su descubrimiento, por parte de Víctor Hess en la primera parte del siglo anterior, hasta nuestros días, su estudio ha permitido explorar los secretos más profundos de la naturaleza, así como desarrollar tecnología que ha podido ser aplicada con éxito a otras áreas científicas [1].

El estudio de rayos cósmicos cubre un amplio espectro de fenómenos. El laboratorio de rayos cósmicos más grande del mundo, el Observatorio Pierre Auger en Argentina, por ejemplo, estudia tanto las componentes de alta energía, para saber la química y origen de astro partículas, así como las de energía media y baja, importantes para el estudio de clima espacial [2].

A inicios de esta década el Ecuador entró a formar parte del experimento LAGO (Latin America Giant Observatory), constituido a partir de la experiencia con el Observatorio Pierre Auger. Sus objetivos científicos cubren, asimismo, un amplio espectro de fenómenos que van desde el estudio de GRB (Gamma Ray Bursts) hasta el estudio de la física solar y del clima espacial [3-5].

Los GRBs son destellos de rayos gamma asociados con explosiones extremadamente energéticas en galaxias distantes. Son los eventos electromagnéticos más luminosos que ocurren en el universo, para poder detectarlos se debe posicionar sistemas de detección en altitud (arriba de los 4000 msnm) para minimizar la interacción de los GRBs con la atmósfera. Dadas las características geográficas de nuestro país tenemos lugares de fácil acceso y con la infraestructura necesaria para poder instalar sistemas de detección de GRBs [6].

En el presente documento se presenta el diseño electrónico y mecánico de un detector de rayos cósmicos basado en radiación Cherenkov (Water Cherenkov Detec-

tor WCD) que pueda ser instalado a gran altitud y que cumpla con los siguientes criterios:

- Resistencia al clima extremo
- Instalación eléctrica y de datos de estándar industrial
- Bajo mantenimiento
- Confiabilidad
- Rentabilidad

## **2. Diseño Electrónico**

Para lograr el diseño electrónico del detector de rayos gama se tuvieron que entender el funcionamiento de varios dispositivos electrónicos tales como: fotomultiplicador, RedPitaya, tarjetas de interface, RaspberryPi 4 y accesorios.

### **2.1. Fotomultiplicador (PMT)**

Un fotomultiplicador es la parte principal del diseño de un detector de partículas porque es el encargado de detectar los rayos cósmicos. En específico, es un detector de óptico capaz de convertir pulsos de rayos gama en un señal eléctrica.[7]

Este dispositivo esta conformado por cuatro elementos:

- Fotocátodo
- Sistema óptico y electrónico de entrada
- Sistema de multiplicación de electrones

- Un ánodo

En la figura 1 podemos observar la estructura básica del funcionamiento de un PMT.

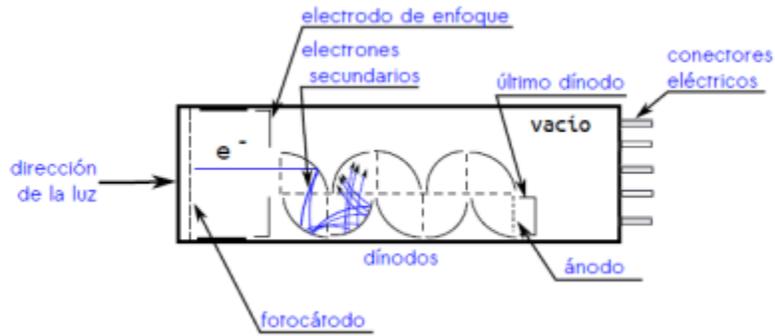


Figura 1: Estructura básica de un PMT

## 2.2. RedPitaya Stemlab125-14

Para poder almacenar las señales captadas por el fotomultiplicador se necesita un dispositivo de adquisición de datos (DAQ), para esta funcionalidad se usa la tarjeta RedPitaya125-14. Esta tarjeta tiene un sistema operativo basado en Linux, es código abierto y dispone de dos funcionalidades adecuadas para su uso como DAQ las cuales son: posee un hardware para la generación y adquisición de señales analógicas y tiene un CPU con un FPGA programable (*Field Programmable Gate Array*). En la figura 2 podemos ver los elementos los cuales dispone la RedPitaya.

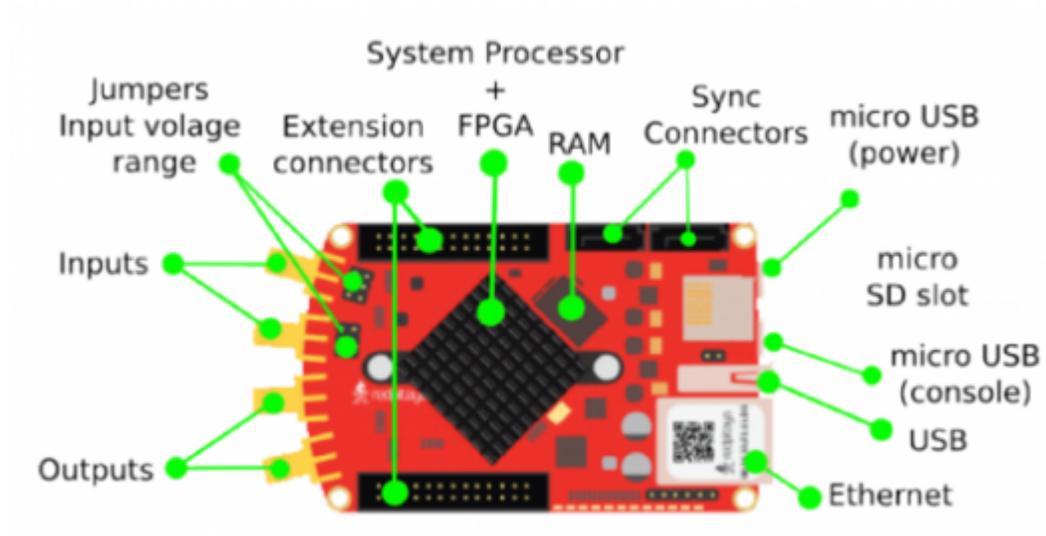
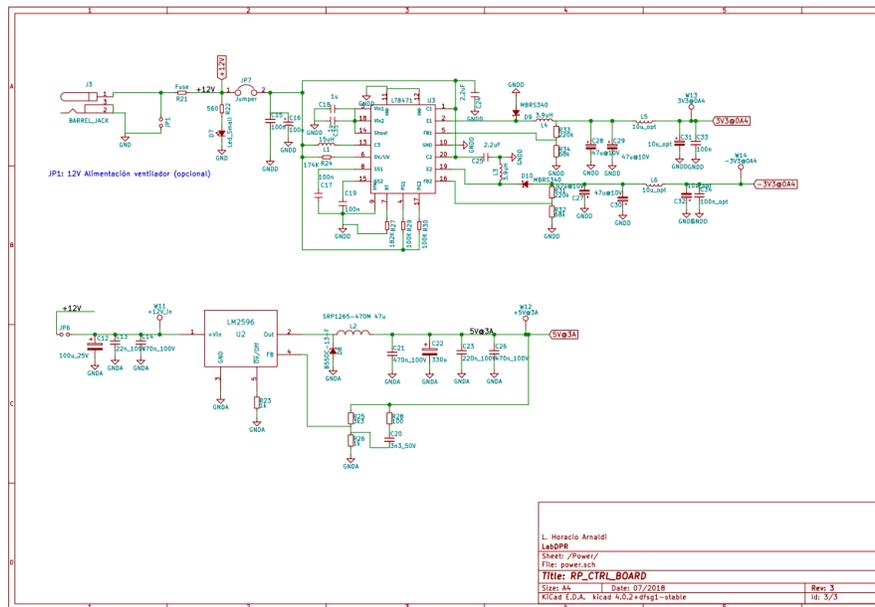


Figura 2: RedPitaya Stemlab125-14

### 2.3. Tarjeta de Interface

La tarjeta de interface es una tarjeta diseñada por la colaboración LAGO para brindar la alimentación necesaria pque requieren los distintos módulos o tarjetas que comprenden a nuestro sistema, en especifico tiene una entrada de 12[V] y cuenta con salidas de 5[V] y  $\pm 3[V]$ . A continuación, en la figura ?? podemos ver el esquemático y en la figura 4 podemos ver a la tarjeta en forma física.



## 2.4. Módulo GPS y módulo Presión y Temperatura

El modulo GPS que se utilizara es el U-blox NEO 6M el sirve para dar una sincronización temporal muy precisa (pulso por segundo) el cual proporciona pulso cada segundo y nos permite sincronizar el registro de datos de nuestra RedPitaya con la RaspberryPi 4.

El modulo de presion y temperatura que se utilizará será el BMP180 el cual está diseñado para leer la presión atmosférica y de esta forma estimar indirectamente la altura sobre el nivel del mar, lo cual nos brindará la posición del tanque.

## 2.5. RaspberryPi4

La RaspberryPi 4 es un micro ordenador que posee un módulo WiFi, y la cual se conectara vía Ethernet a la RedPitaya y servirá como un dispositivo de almacenamiento de datos a gran escala, debido a eso se seleccionó esta versión de raspberry por que tiene una sólida conexión a SSD y guardar los registros. También se implementará en la RaspberryPi 4 un módulo Raspberry Shield 3G/4G/LTE el cual brindará acceso a internet y nos permitirá conectarnos remotamente con el sistema desde nuestro PC.

En la figura 5 podemos ver el sistema RaspberriPi 4 y SSD conectado y en la figura 6 podemos ver el modulo Raspberry Shield 3G/4G/LTE.

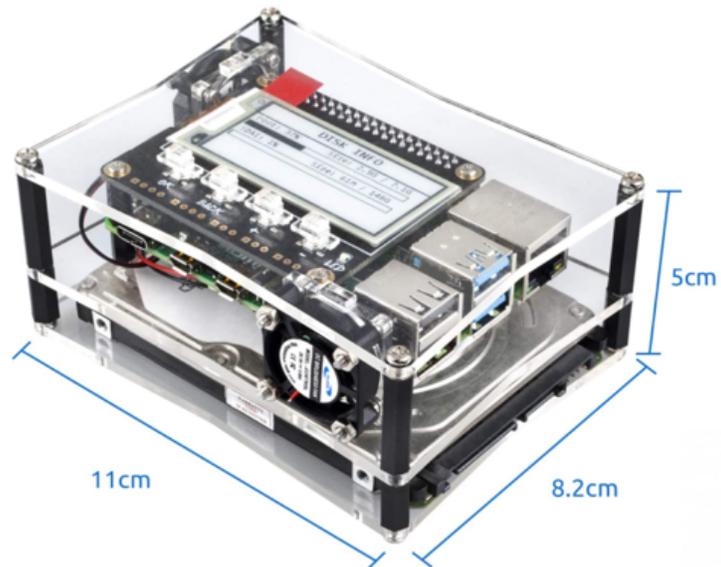


Figura 5: RaspberryPi 4 y SSD

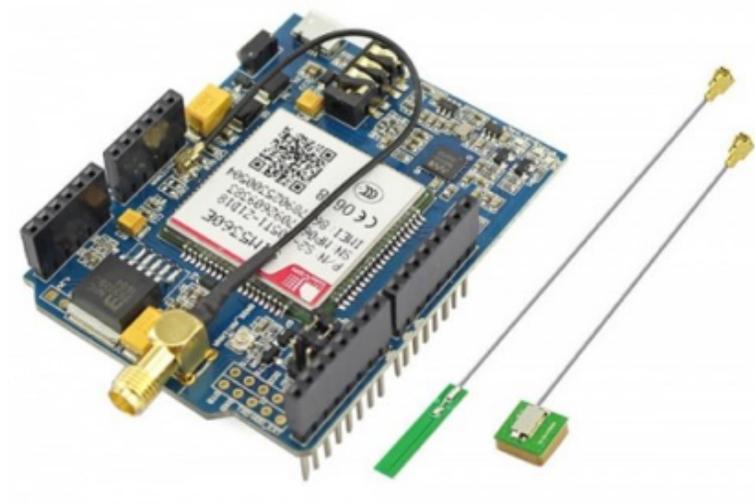


Figura 6: Raspberry Shield 3G/4G/LTE

## 2.6. Diagrama de bloques

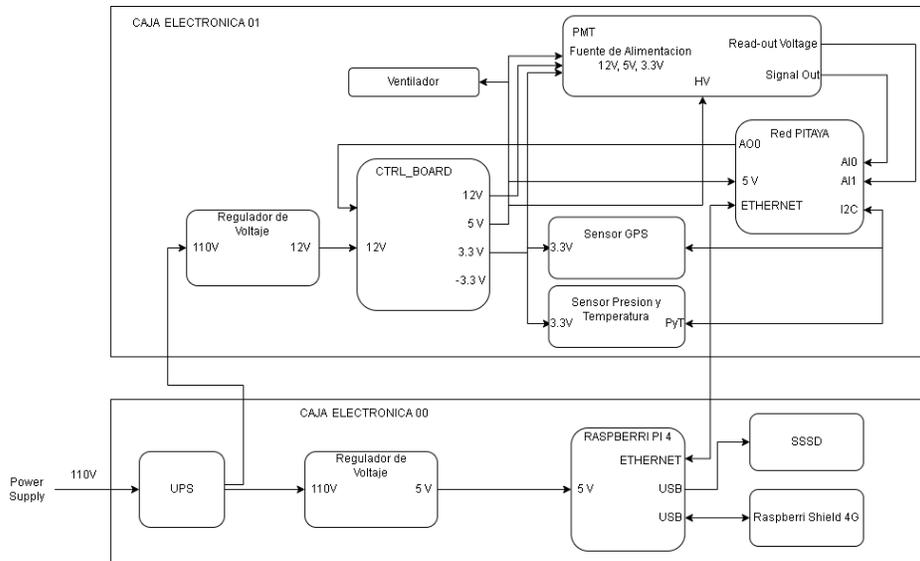


Figura 7: Diagrama electrónico del sistema

En la figura 7 podemos observar todos los bloques que corresponden al sistema del detector de partículas y todas las conexiones que se deben realizar. Un factor importante a recalcar es que el sistema está dividido en dos secciones las cuales son las cajas electrónicas en donde se almacenarán los dispositivos/módulos/tarjetas, también podemos ver otros elementos como una UPS lo cual veremos más adelante.

## 3. Diseño Mecánico

El diseño mecánico de nuestro detector fue basado en un tanque que se utilizaba como biodigestor en el departamento de ingeniería en alimentos, en el software AutoCAD se realizó el modelado en 3D del tanque, se realizaron modificaciones y se diseñaron nuevas piezas para adaptarlo a su nueva función de detector. Cabe recal-

car que el modelado en AutoCAD nos sirve para comprobar la respuesta del tanque hacia los rayos cósmicos.

A continuación, en la figura 8 podemos ver al tanque real comparado al tanque modelado. A clara vista observamos que el tanque real tiene tuberías, mangueras y orificios que no nos serian de utilidad en un detector de rayos cósmicos por lo cual en el modelado vemos a un tanque con una superficie plana.



Figura 8: Tanque real vs tanque modelado

### 3.1. Elementos diseñado para el tanque

A partir de la necesidad de tener un detector capaz de soportar climas extremos y de alta confiabilidad, se diseñaron varias piezas que complementen al tanque

anteriormente mostrado.

### 3.1.1. Tapa exterior

La tapa exterior se diseñó en forma de cúpula para que adentro se pueda almacenar distintos módulos electrónicos y proteger a dichos dispositivos del clima exterior. La tapa cuenta con orificios a su alrededor que servirán para atornillar el tanque con la tapa exterior.



Figura 9: Modelado: Tapa Exterior

### 3.1.2. Tapa Interior

La tapa interior del tanque fue diseñada para lograr sujetar al PMT de tal manera que este no esté colgando en la intemperie y no se sumerja en el agua del tanque. El diseño que se planteó consta de dos piezas simétricas en forma de semicírculos el

cual al juntarse tienen el diámetro total del tanque y tienen un orificio en el centro donde se encontrará el PMT. Para evitar daños en el PMT por el rozamiento se utilizarán aislantes en la circunferencia del orificio para que se mantenga completamente separada del agua del tanque y para evitar fenómenos de condensación y humedad en la tarjeta del PMT. La tapa interior estará ubicada entre el tanque y la tapa exterior.

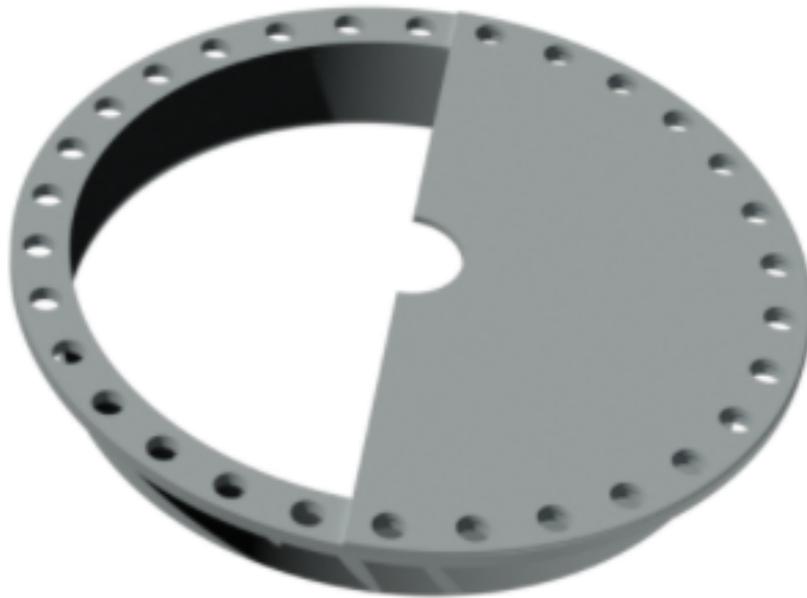


Figura 10: Modelado:Tapa Interior

### 3.1.3. Malla difusora

La malla difusora fue diseñada para aumentar la eficiencia del tanque en la detección de rayos cósmicos, se ubicará en la superficie del agua y flotará. También, tiene un uso de protección del PMT



Figura 11: Modelado: Malla Difusora

### 3.1.4. Cajas Electrónicas

Se decidió diseñar dos cajas en donde se encontrarán la parte electrónica y eléctrica del sistema, como se pudo visualizar en el diagrama de bloques. Las cajas de electrónica se van a instalar en distintas ubicaciones para resguardar la seguridad de la electrónica. La caja 01 se ubicará arriba entre la tapa interior y la tapa exterior esto se debe a que deseamos evitar que los cables que transmiten la señal provoquen ruido debido a su longitud y también, evitando el daño de los cables debido al clima extremo.

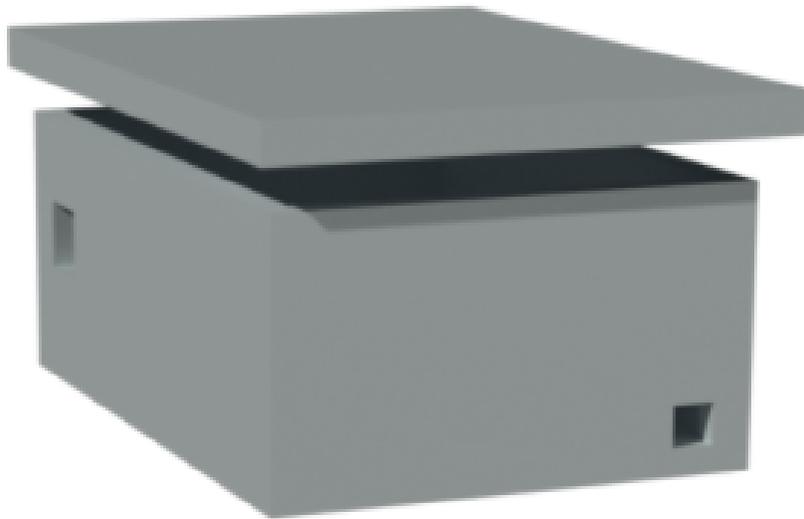


Figura 12: Modelado: Caja Electrónica

### **3.2. Tanque final modelado**

Después de realizar todos los diseños de los nuevos elementos del tanque, podemos asegurar que nuestro diseño no permite ninguna fuga o ingreso de luz y permite el total aislamiento a agentes externos, tales como, polvo o humedad.



Figura 13: Modelado: Progresión del modelado del tanque

En la figura 13 podemos observar como se fueron añadiendo los distintos elementos al tanque y al final podemos ver el diseño final del modelado del tanque.

## 4. Diseño Eléctrico

### 4.1. Sistema de alimentación ininterrumpida

Para garantizar el funcionamiento y seguridad del sistema 24 horas al día los 7 días a la semana, se decidió instalar en la caja electrónica 00 un sistema de alimentación

ininterrumpida o UPS este dispositivo sirve para tener un flujo continuo de corriente eléctrica mediante el uso de baterías y a su vez protege a los dispositivos conectados de cambios de tensión inesperados.

#### **4.2. Ventilación del sistema**

La ventilación del sistema es de vital importancia porque nos garantiza un perfecto funcionamiento de los dispositivos instalados en el sistema. Debido a que adentro del tanque y adentro de la tapa exterior el flujo de aire es casi nulo, se diseñó un sistema de respiradores en la tapa exterior los cuales poseerán un filtro de polvo y ayudaran a que un ventilador de 5V pueda ser instalado en la caja electrónica 01.

#### **4.3. Puesta a tierra del sistema**

Se realizó una puesta a tierra del sistema, debido a que como el tanque es de acero inoxidable y estará ubicado a una gran altura este funcionaría como un pararrayos lo cual pondría en riesgo a los dispositivos electrónicos dentro del sistema y a los usuarios del sistema. Lo que se hará para poner a tierra nuestro tanque será:

- Instalación de un toma a tierra, con una resistencia lo mas bajo posible.
- Controlar los valores de impedancia.
- Verificar las tomas de corriente.

### **5. Presupuesto**

A continuación, en la tabla 1 se muestra el presupuesto que tendría implementar el proyecto del detector de astro partículas, cabe recalcar que la Red Pitaya, la

tarjeta de interface, los módulos GPS y de Presión y temperatura y el sistema de de alimentación ininterrumpida ya se encuentran disponibles.

ITEM	Cantidad	Precio por Unidad	Precio
Adaptación del tanque	1	200.00	200.00
Piezas diseñadas	1	425.00	425.00
RaspberriPi4 + SSD	1	90.00	90.00
Raspberri Shield 3g/4g/LTE	1	75.00	75.00
Regulador de Voltaje 110 a 12V	1	30.00	30.00
Instalaciones eléctricas	1	100.00	100.00
Puesta a tierra	1	95.00	95.00
		Total	1015.00

Tabla 1: Presupuesto de implementación del sistema

## 6. Conclusiones

- El diseño mecánico garantiza que los elementos electrónicos se encuentre protegidos cambios de temperatura, humedad, polvo, etc.
- El uso de una RASPBERRY PI4 tiene un sistema de conexión redundante WIFI y GPRS que nos garantiza la conectividad a internet para realizar un respaldo de datos.
- El sistema de conexión redundante nos permitirá implementar un sistema de conexión remota para el monitoreo y mantenimiento del detector.
- La aplicación de estándares para una instalación eléctrica nos garantizara que el

detector no sufra ningún daño debido a tormentas eléctricas, descargas eléctricas, electricidad estática.

- La adaptación del tanque e instalación de la electrónica se mantiene en un costo razonable lo que hace que esta implementación sea accesible a grupos de investigación de bajos recursos.

## 7. Referencias

1. C. Grupen, "The History of Cosmic Ray Studies after Hess", Nucl. Phys. Proc. Suppl. 239-240, 19 (2013), doi :10.1016/j.nuclphysbps.2013.05.003
2. Pierre Auger Collaboration, "The Pierre Auger cosmic ray observatory", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment 798 (2015): 172-213.
3. Allard, D., et al., "Use of water-Cherenkov detectors to detect gamma ray bursts at the Large Aperture GRB Observatory (LAGO)", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment 595 (2008): 70-72.
4. Asorey, H., "The LAGO solar project", Proceedings of the 33th International Cosmic Ray Conference ICRC 2013, 1-4.
5. Asorey, H. et al. for the LAGO Collaboration, "The LAGO Space Weather Program: Directional Geomagnetic Effects, Background Fluence Calculations and Multi-Spectral Data Analysis" PoS(ICRC2015), 142.
6. C. Mantilla et al. [LAGO Collaboration], "Implementing a WCD detector system in Ecuador as part of the LAGO Project", Nucl. Part. Phys. Proc. 267-269, 430 (2015), doi:10.1016/j.nuclphysbps.2015.10.143.
7. Flyckt, S. O. y Marmonier, C. (2002). Photomultiplier tubes: Principles and applications (Segunda ed.). Francia: Philips Photonics