



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL IBEROAMERICANA
DEPARTAMENTO DE PROYECTOS

DOCTORADO EN PROYECTOS
**Línea de investigación en: Tecnologías de la Información y Comunicación
(TIC)**

TESIS DOCTORAL

Título
Optimización de un dron para dosimetría ambiental

Doctorando
Rubén Enrique Baena Navarro

Directores
Carlos Eduardo Uc Ríos
Francisco José Torres Hoyos

Noviembre de 2019

Programa de Doctorado en Proyectos
Comisión Académica

PLANTILLA DE VALORACIÓN DE PROPUESTA DE TESIS DOCTORAL

Doctorando o doctoranda: **Rubén Enrique Baena Navarro**

Título de la Propuesta de Tesis: **Optimización de un dron para dosimetría ambiental**

Director- Directores: **Carlos Eduardo Uc Ríos**
Francisco José Torres Hoyos

1= Muy Deficiente - 5= Excelente - NA= No Aplicable

Aspectos formales	1	2	3	4	5	NA
Sigue las normas de citas bibliográficas de la APA en todo el texto			X			
Sigue las normas de la APA en las referencias bibliográficas				X		
Cumple la normativa de presentación de trabajos exigida en el doctorado				X		
La redacción del texto es la adecuada			X			
Observaciones:	Se han solventado las observaciones señaladas.					

Título	1	2	3	4	5	NA
Refleja con claridad lo recogido en el proyecto				X		
Tiene suficiente interés para constituir una tesis				X		
Es innovador y original			X			
Observaciones:						

Resumen	1	2	3	4	5	NA
Tiene entre 250 y 300 palabras			X			
Es claro y refleja los aspectos más destacados de la investigación						
Observaciones:	<ul style="list-style-type: none"> Se han realizado las modificaciones en el resumen 					

Antecedentes y estado actual del tema	1	2	3	4	5	NA
Claridad y estructura de la justificación			X			
Viabilidad y factibilidad de la investigación				X		
La revisión de la literatura es actual y ajustada a la propuesta				X		
Plantea lagunas en las investigaciones previas que justifican los objetivos				X		
Se detalla el escenario del estudio				X		
Incluye una reseña sobre los fundamentos del contexto				X		
El estudio sigue un planteamiento empírico y se aportan datos concretos			X			
Observaciones:						

--

Problema, preguntas y objetivos	1	2	3	4	5	NA
El problema se define correctamente como punto de partida				X		
Existe un objetivo principal y varios específicos				X		
El planteamiento y la redacción de los objetivos es adecuada				X		
Observaciones:						

Metodología	1	2	3	4	5	NA
El diseño recoge el paradigma y los métodos empleados				X		
Las hipótesis están formuladas correctamente				X		
La selección de la muestra de estudio está adecuadamente justificada				X		
La muestra se adecúa a los objetivos establecidos				X		
Aparece de forma clara el tipo de selección muestral que se realizará				X		
Están bien definidas las variables del estudio				X		
Aparece claramente detallado los instrumentos de recogida de datos						X
Se recoge la validación de los instrumentos, si se hará o fue hecha ya						X
Se especifica cómo se llevará a cabo el análisis de los datos				X		
Se realiza una aproximación a los resultados esperados				X		
Existe una declaración explícita del tipo de innovación que se espera				X		
Se recoge la intención de publicar parte de la tesis en una revista indexada			X			
Observaciones:	<ul style="list-style-type: none"> En los resultados esperados ya se establece la intención de publicar los resultados de la tesis en una revista indexada. 					

Otros apartados	1	2	3	4	5	NA
El calendario refleja con claridad lo que se pretende hacer				X		
El calendario previsto es realista				X		
Las referencias bibliográficas recogen todas las citas del texto				X		
Existe un apartado dedicado a bibliografía básica actualizada sobre el tema				X		
Observaciones:						

La Comisión Académica, una vez revisada la Propuesta de Tesis presentada por D./Dña Rubén Enrique Baena Navarro, **acordó** en la reunión de 23 de enero de 2018:

Admitirla a trámite con la puntuación final de **9.0**

La Comisión Académica



COORDINACIÓN DE DOCTORADOS

HOJA DE ACEPTACION DE TESIS DOCTORAL

Dr. Carlos Eduardo Uc Ríos y **Dr. Francisco José Torres Hoyos** en calidad de Directores de la Tesis Doctoral del doctorando **Rubén Enrique Baena Navarro**, firmamos este documento como prueba de mi conformidad con que el alumno/a presente a evaluación la presente Tesis Doctoral, al cumplir los requisitos científicos, metodológicos y formales exigidos.

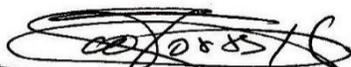
En Campeche (México) a los 28 días del mes de noviembre de 2019.



CARLOS EDUARDO UC RÍOS
Director



RUBÉN ENRIQUE BAENA NAVARRO
Doctorando



FRANCISCO JOSÉ TORRES HOYOS
Director

COMPROMISO DE AUTOR

Yo, RUBÉN ENRIQUE BAENA NAVARRO, identificado con cedula de ciudadanía Nro. 72.247.167 expedida en la ciudad de Barranquilla (Colombia) y como estudiante del programa académico Doctorado en Proyectos, de la Universidad Internacional Iberoamericana (UNINI).

DECLARO:

Que el contenido escrito en el presente documento es de mi entera responsabilidad, por tanto, cualquier indicio de plagio u omisión de fuentes originales que conlleve a cualquier sanción tanto económica como administrativa recaerá sobre mí, sin que esto afecte a los Directores de tesis, Universidad o instituciones colaborantes en el desarrollo de dicha tesis.

En Montería a 28 de noviembre de 2019



RUBEN ENRIQUE BAENA NAVARRO
Doctorando

C.C. Nro. 72.247.167 de Barranquilla (Colombia)

Comprobante de aceptación de la publicación del artículo relacionado con la investigación por parte de una revista

[En trámite revista:

- Publicación en revista SCOPUS Q2, APPLIED RADIATION AND ISOTOPES - ISSN: 1872-9800, 1872-9800, 0969-8043
- Está en índices de citas (Science Citation Index Expanded, Scopus).
- Está al tiempo en WoS (AHCI, SCIE o SSCI) y en Scopus (Science Citation Index Expanded, Scopus).
- Está en dos o más bases datos de indización y resumen o en DOAJ (Academic Search Premier, Aquatic Science & Fisheries Abstracts (ASFA), Chemical Abstracts Core, Chimica, Compendex, EMBASE, Food Science & Technology Abstracts, INSPEC, MEDLINE, Pollution Abstracts).
- Antigüedad Revista = 26 años (fecha inicio: 1993).
- País = Reino Unido.

]

Dedicatorias

Dedico esta tesis a DIOS, por darme la vida y quién inspiro mi espíritu para la conclusión de esta tesis Doctoral en Proyectos en la línea de investigación en: Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC).

Para mis padres quienes me han brindado su infinito amor, educación, apoyo y consejos. A mis hermanos: Eliecer Baena Navarro y Rubén Baena Ramos con sus hermosas familias, a mis compañeros de estudio, a mis maestros y amigos, quienes sin su ayuda nunca hubiera podido hacer esta tesis. A todos ellos se los agradezco desde el fondo de mi alma.

A mi esposa Yulieth, la que ha sabido estar a mi lado en todo momento, brindándome su amor y comprensión cuando más lo he necesitado. ¡Gracias mi Yulo!. A mis pequeños hijos, Esteban, Maleja y Mariana, con su pequeña sonrisa iluminan mi mundo, me bendicen y con su existencia soy el padre más afortunado.

A mi padre académico, profesor de pregrado el Doctor Luis Armando Cobo Campo, por enseñarme el camino, por darme siempre el ejemplo de superarme y enseñarme que con esfuerzo todo es posible, como él lo suele decir: *“La vida es dura y las noches son largas”*.

Para todos ellos hago esta dedicatoria.

Muchas gracias de todo corazón.

Agradecimientos

Agradezco muy sinceramente a mis directores de tesis a los Doctores Carlos Uc Ríos y Francisco Torres Hoyos por ofrecer todos los conocimientos y habilidades durante mi preparación académica. Su modo de trabajar, persistencia, paciencia y su motivación han sido fundamentales para mi formación como investigador. Ellos han inspirado en mí un sentido de seriedad, responsabilidad y rigor académico sin los cuales no podría tener una formación completa como investigador, se han ganado mi lealtad y admiración, les estaré por siempre agradecido.

A mis amigos Juan Raúl Vergara, José Celedón, Julio Castellanos, Luis Villadiego, Rafael Vergara, Ivan Ortiz, Reinaldo López, Alejandra Pérez, Luis Cotua, Jorge Causil y Norellys Giraldo por su valiosa ayuda y diversas contribuciones, les expreso mi más sincera gratitud.

A todos los que de forma directa o indirecta participaron en la realización de este trabajo, opinando, teniéndome paciencia, corrigiéndome, animándome, entre otras cosas, por todo ello y más muchas gracias.

Copyright © 2019 por Rubén Enrique Baena Navarro. Todos los derechos reservados.

*The mind that opens up to a new idea
never returns to its original size -.*
Albert Einstein

Acrónimos

ARM	: Advanced RISC Machine
ALS	: Airbone Laser Scanner
AWS	: Amazon Web Services
API	: Application Programming Interface
Rest	: Representational State Transfer
CSS	: Cascading Stylesheets
CE	: Conformidad Europea
INT	: Controlador de Interrupción
GM	: Contador Geiger Müller
CAN	: Controller Area Network bus
FCC	: Declaración de Conformidad de la Federal Communications Commission (FCC)
GPIO	: General Purpose Input/Output
GB	: Gigabyte
Ghz	: Gigahercio
GPS	: Global Positioning System
GND	: Ground
GNU	: No es Unix (GNU is Not Unix)
GCP	: Google Cloud Platform

GPL : General Public License

GPU : Graphics Processing Unit

HDMI : High-Definition Multimedia Interface

HTML : HyperText Markup Language

IaaS : Infrastructure as a Service

IC : Innovation, Science and Economic Development Canada

I2C : Inter-integrated Circuit

IoT : Internet of Things

BSD : Berkeley Software Distribution

MIT : Massachusetts Institute of Technology

MB : Megabyte

MAVLink : Micro Air Vehicle Link

MCU : Multipoint Control Unit

NTC : Negative Temperature Coefficient

OSR : Open-source robotics

PTCRB : Personal Communications Service Type Certification Review Board

PCB : Printed Circuit Board

Radiación UV : Radiación Ultravioleta

RAM : Random Access Memory

- RPAS** : Remotely Piloted Aircraft Systems
- SD** : Secure Digital: Secure Digital
- SPI** : Serial Peripheral Interface
- SBC** : Single Board Computer
- INS** : Inertial Navigation System
- SAE** : Society of Automotive Engineers
- SDK** : Software Development Kit
- SIM** : Subscriber Identity Module, también es conocida como tarjeta SIM
- SoC** : System On a Chip
- USB** : Universal Serial Bus
- UAS** : Unmanned Aerial Systems
- UAV** : Unmanned Aerial Vehicle
- V** : Voltio

Índice General

Dedicatorias	vii
Agradecimientos	viii
Acrónimos	x
Índice de Tablas	xv
Índice de figuras.....	xvi
Resumen.....	xviii
Abstract	xx
Capítulo 1. Introducción	1
Capítulo 2. Planteamiento de la Investigación.....	7
2.1 Justificación.....	7
2.2 Problema de la Investigación.	9
2.3 Preguntas de Investigación.....	13
2.4 Objetivos.	14
2.4.1 Objetivo General.....	14
2.4.2 Objetivos Específicos.....	14
Capítulo 3. Marco Teórico.....	15
3.1 Radiación Solar	15
3.1.1 Radiación Solar en Colombia	18
3.1.2 Radiación Ionizante	19
3.2 Medidores.....	23
3.2.1 Características para selección de medidores en IoT	25
3.2.2 Diferentes tipos de medidores.....	26
3.2.2.1 Medidores de proximidad	26
3.2.2.2 Acelerómetro y giroscópio.....	31
3.2.2.3 Medidores de temperatura y humedad.....	31
3.2.2.4 Medidor de presión atmosférica y altura	33
3.2.2.5 Sistema de posicionamiento global (GPS).....	34
3.2.2.6 Medidor de radiación UV	37
3.2.2.7 Dosímetros	37
3.2.2.7.1 Dosimetría personal	38
3.2.2.7.2 Dosimetría de Área	43
3.3 Internet de las Cosas.....	47
3.3.1 Computación en la nube (Cloud Computing)	52
3.4 Ordenador de placa reducida.....	53
3.4.1 Raspberry Pi 3.....	54
3.4.2 Particle Electron.....	55
3.5 Vehículos aéreos no tripulados (VANT).....	57
3.5.1 Drones	58
3.5.2 Hexacóptero	59
3.5.2.1 Controladora de vuelo Pixhawk.....	60
3.5.2.2 Protocolo de comunicación para drones MAVLink	62

3.6 Metodologías de Desarrollo de Software	64
3.6.1 Metodologías Tradicionales	65
3.6.2 Metodologías Ágiles	68
3.6.3 Comparación Metodologías Ágiles y Tradicionales	76
3.7 Software Empleado	77
3.7.1 Distribución GNU Linux Elementary OS	77
3.7.2 Node.js	78
3.7.3 Python	80
3.7.4 Redis	81
3.7.5 FireBase	82
Capítulo 4. Metodología	84
4.1 Preliminar	84
4.1.1 Investigación Cuantitativa	85
4.1.2 Modelo para la investigación documental	87
4.1.3 Modelo de desarrollo de proyectos hardware/software	88
4.1.4 Metodología para la evaluación experimental	91
4.1.5 Alcance de la investigación	93
4.2 Diseño	93
4.3 Hipótesis de la investigación	94
4.4 Población y muestra	95
4.5 Variables	97
4.6 Métodos e Instrumentos de investigación	97
4.7 Análisis de datos	98
Capítulo 5. Desarrollo y Experimentación	100
5.1 Desarrollo	100
5.2 Experimentación	115
Capítulo 6. Resultados	123
Capítulo 7. Conclusiones, limitaciones y recomendaciones	132
7.1 Conclusiones	132
7.2 Limitaciones	133
7.3 Recomendaciones	133
Referencias Bibliográficas	135
Anexos	154
Anexo A	154
Anexo B	158
Anexo C	161
Anexo D	163
Anexo E	166
Anexo F	167
Anexo G	171

Índice de Tablas

Tabla 1. Explicación byte cabecera paquete MavLink	63
Tabla 2. Ranking de “agilidad”	75
Tabla 3. Diferencias entre Metodologías Tradicionales y Ágiles.	76
Tabla 4. Ficha técnica de la metodología.....	94
Tabla 5. Resultados procedimiento de validación para exposición de Torio al 2%.	116
Tabla 6. Resultados procedimiento de validación para núclido radioactivo Co-57.	118
Tabla 7. Resultados procedimiento de validación Tc - 99.....	119
Tabla 8. Estadística descriptiva en CPM para Tc - 99.....	121
Tabla 9. Actividad de Radiación Ionizante para Tc - 99.	121
Tabla 10. Medición de radiación ionizante, humedad, temperatura y UV en la ubicación geográfica 8 ° 47'25.0 "N - 75 ° 51'46.6" W, área urbana de Montería.....	124
Tabla 11. Medición de radiación ionizante, humedad, temperatura y UV en la ubicación geográfica 8 ° 46'09.8 "N - 75 ° 49'45.6" W, área urbana de Montería.....	128

Índice de figuras

Figura 1. Tipos de rayos UV	16
Figura 2. Como el Gas Radón Entra al Hogar.	20
Figura 3. Medidores fotoeléctricos	27
Figura 4. Medidores LIDAR.....	27
Figura 5. Funcionamiento LIDAR.....	28
Figura 6. Medidor LIDAR Lite v3.....	29
Figura 7. Medidores ultrasónicos.....	30
Figura 8. Funcionamiento medidor ultrasónico	30
Figura 9. Módulo Acelerómetro y giroscopio.....	31
Figura 10. Medidor de humedad y temperature DHT11.....	32
Figura 11. Diagrama de datos para el medidor DHT11	33
Figura 12. Medidor de presión y altitud LPS331AP.....	34
Figura 13. Funcionamiento del GPS.....	35
Figura 14. Módulo UART GPS NEO-7M-C (B).....	36
Figura 15. Grove Sensor UV	37
Figura 16. Contador Geiger Müller modelo NGMC-V1	46
Figura 17. Proyección de IoT por CISCO	48
Figura 18. Número de dispositivos en IoT.....	51
Figura 19. Comparativa Raspberry Pi.....	55
Figura 20. Particle Electron	56
Figura 21. Cuadro de certificación de Particle.....	57
Figura 22. Hexacóptero profesional S800 EVO	60
Figura 23. Controladora de vuelo Pixhawk	61
Figura 24. Estructura de un paquete MavLink.....	63
Figura 25. Arquitectura protocol de comunicación para drones MavLink.....	64
Figura 26. Ciclo de vida de la metodología RUP	67
Figura 27. Ciclo de vida de la metodología MSF	67
Figura 28. Ejemplo de diagrama de sistema datos de Medidor a FireBase	83
Figura 29. Metodologías para el desarrollo del proyecto	84
Figura 30. Diagrama de Bloques del Dispositivo Medidor de radiación ionizante.	100
Figura 31. Arquitectura de Software y Comunicación.	103
Figura 32. Microcontrolador Particle Electron, Raspberry Pi, medidor Geiger Müller, medidor UV, medidor Humedad/Temperatura, medidor barométrico conectados.	104
Figura 33. Diagrama de Flujo Algoritmo de Medición.	105
Figura 34. Dron Optimizado con Dispositivo de Medición de Radiación Ionizante.....	106
Figura 35. Cúpula de Protección Dispositivo de Medición Radiación Ionizante.	106
Figura 36. Dron Optimizado para Dosimetría Ambiental.	107
Figura 37. Diagrama de Bloques del UAV y la Tecnología LIDAR Lite V.3	108
Figura 38. Controladora de Vuelo Pixhawk, LIDAR Lite V.3 y Servomotores para Rotación 360° Conectados.....	109
Figura 39. Diagrama de Flujo Algoritmo SLAM con LIDAR Lite V.3	110

Figura 40. Proyección de Obstáculos con LIDAR.....	110
Figura 41. Pantalla de ingreso al sistema.....	111
Figura 42. Pantalla de Monitorización de datos.....	112
Figura 43. Pantalla de gráfico de captura de datos.	113
Figura 44. Diagrama de Flujo General de Funcionamiento de la Web App para Monitorear Datos en Tiempo Real.....	114
Figura 45. Metodología del Proceso de Validación Calibración Dispositivo de Medición de Radiación Ionizante Basado en IoT.	115
Figura 46. Resultados medición de Torio a 2%.....	117
Figura 47. Resultados de medición de Co-57.	118
Figura 48. Gráfica comparativa de Dosis Acumulada de Tecnecio – 99.....	120
Figura 49. Dispositivo ubicado en zona rural de la ciudad de Montería.	123
Figura 50. Gráfica de dosis acumulada μSv Medición de radiación ionizante en la ubicación geográfica 8 ° 47'25.0 "N - 75 ° 51'46.6" W, área urbana de Montería.....	126
Figura 51. Gráfica de dosis acumulada IUUV en la ubicación geográfica 8 ° 47'25.0 "N - 75 ° 51'46.6" W, área urbana de Montería.	127
Figura 52. Gráfica de dosis acumulada μSv Medición de radiación ionizante en la ubicación geográfica 8 ° 46'09.8 "N - 75 ° 49'45.6" W, área rural de Montería.	130
Figura 53. Gráfica de dosis acumulada IUUV en la ubicación geográfica 8 ° 46'09.8 "N - 75 ° 49'45.6" W, área rural de Montería.....	131

Resumen

Las radiaciones ionizantes forman parte de nuestra vida cotidiana, pero en las últimas décadas, la exposición prolongada en el tiempo, ha venido aumentando las afectaciones en los seres vivos. Estas afectaciones provocan la muerte de células al tejido vivo dando lugar a un mal funcionamiento, siendo más sensibles los ovarios, testículos, el cristalino y la médula ósea; conllevando a la aparición de cáncer o enfermedades hereditarias en descendientes de las personas expuestas. Lo anterior hace necesario un estudio sobre la radiación recibida por los seres vivos y estrategias de prevención a los efectos negativos de estas radiaciones. Para medir los valores de radiación se utilizan dosímetros personales, en el caso de que las personas trabajen en centros hospitalarios donde hay presencia de dicha radiación a lo que se le denomina personal ocupacionalmente expuesto y medidores de inspección zona (Del Valle et al., 2014; Vitorero Udías, 2013); los dosímetros personales son pequeños dispositivos que se usan en la parte del cuerpo más expuestas a la radiación, los más utilizados son semiconductores basados en Litio (Li) y Flúor (F), dopados con Magnesio (Mg) y Titanio (Ti) los cuales se caracterizan por ser un material Termoluminiscente, cuyas lecturas se hacen de manera indirecta, con lectores especializados para tales fines, pero no pueden cuantificar dosis de radiación en tiempo real. Por otro lado, los dosímetros de área pueden cuantificar la dosis de radiación en tiempo real, pero con la limitante de que adolecen de conexiones a Internet o almacenamiento de bases de datos. Cabe anotar que estos dosímetros comerciales se caracterizan por tener un precio elevado económicamente hablando, otra de sus limitantes es que no pueden realizar procesamiento de datos en tiempo real y flexibilidad de uso.

En el presente trabajo se diseñó e implemento un dispositivo de medición de radiaciones de bajo costo en comparación con los existentes en el mercado, representando una reducción hasta del 70% en el precio comercial tales como el medidor Geiger Müller LUDLUM serie No. 307891 modelo 14C, con una eficiencia del 98% en la medición de los datos, de acuerdo a la calibración realizada por el laboratorio secundario de Colombia, autorizado por el Ministerio de Minas y Energía de dicho país. El dispositivo ensamblado incluye conexión a Internet a través de 3G,

Ethernet, o WiFi, contador Geiger Müller, medidor de radiación UV, y hardware conectado a la plataforma Particle.io que con Internet de las Cosas (IoT) contribuyen en los procesos de monitoreo, mediciones y recolección de datos, información que es enviada a una base de datos remota alojada en un servidor, proporcionando conocimiento de estos valores en tiempo real en una Web App híbrida.

Adicionalmente se desarrolló un sistema que ayuda a optimizar un vehículo aéreo no tripulado (UAV) o dron, que lo transportará en zonas montañosas o de difícil acceso, proponiendo para ello un algoritmo que permita la navegación autónoma con la capacidad de detección y evasión de obstáculos, proporcionando control de su propio vuelo en caso de que el piloto pierda comunicación con éste (Chao, Gu, & Napolitano, 2013), para la utilización de este algoritmo se adapta la tecnología Light Detection and Ranging (LIDAR) para ayudar a mejorar la tecnología que generalmente se utiliza basada en Global Positioning System (GPS), el cual trabaja muy bien en exteriores y en ambientes libres de obstáculos (Martinez-Carranza, Loewen, Marquez, Garcia, & Mayol-Cuevas, 2015). Los resultados de la medición se compararon en un laboratorio de medicina nuclear, con dosímetros electrónicos calibrados, comprobando el buen funcionamiento y precisión del dispositivo propuesto (Larrondo Muguercia, R., Miyares Díaz, E. & González Angulo, 2012; Mendoza et al., 2014).

Palabras clave: Radiaciones, vehículo aéreo no tripulado, Internet de las Cosas, medidores, contador Geiger Müller.

Abstract

Ionizing radiations are part of our daily lives, but in recent decades, prolonged exposure over time has been increasing the effects on living beings. These affectations cause the death of cells to the living tissue giving rise to a malfunction, being more sensitive the ovaries, testicles, the crystalline lens and the bone marrow; leading to the appearance of cancer or inherited diseases in descendants of the exposed people. The foregoing necessitates a study on the radiation received by living beings and prevention strategies for the negative effects of these radiations. To measure radiation values, personal dosimeters are used, in the case that people work in hospital centers where there is a presence of said radiation, which is called occupationally exposed personnel and area inspection meters (Del Valle et al., 2014; Vitorero Udías, 2013); Personal dosimeters are small devices that are used in the part of the body most exposed to radiation, the most commonly used are semiconductors based on Lithium (Li) and Fluorine (F), doped with Magnesium (Mg) and Titanium (Ti) which They are characterized by being a Thermoluminescent material, whose readings are made indirectly, with specialized readers for such purposes, but cannot quantify radiation doses in real time. On the other hand, area dosimeters can quantify the radiation dose in real time, but with the limitation that they suffer from Internet connections or database storage. It should be noted that these commercial dosimeters are characterized by having a high price economically speaking, another of its limitations is that they can not perform real-time data processing and flexibility of use.

In the present work, a low-cost radiation measurement device was designed and implemented in comparison with those existing in the market, representing a reduction of up to 70% in the commercial price such as the Geiger Müller LUDLUM series No. 307891 model 14C meter , with an efficiency of 98% in the measurement of the data, according to the calibration carried out by the secondary laboratory of Colombia, authorized by the Ministry of Mines and Energy of that country. The assembled device includes Internet connection via 3G, Ethernet, or WiFi, Geiger Müller counter, UV radiation meter, and hardware connected to the Particle.io platform that contribute to the monitoring processes with Internet of Things (IoT) , measurements

and data collection, information that is sent to a remote database hosted on a server, providing knowledge of these values in real time in a hybrid Web App.

Additionally, a system was developed that helps optimize an unmanned aerial vehicle (UAV) or drone, which will transport it in mountainous or difficult-to-reach areas, proposing an algorithm that allows autonomous navigation with the ability to detect and evade obstacles , providing control of its own flight in case the pilot loses communication with it (Chao, Gu, & Napolitano, 2013), for the use of this algorithm the Light Detection and Ranging (LIDAR) technology is adapted to help improve the technology that is generally used based on Global Positioning System (GPS), which works very well outdoors and in obstacle-free environments (Martinez-Carranza, Loewen, Marquez, Garcia, & Mayol-Cuevas, 2015). The measurement results were compared in a nuclear medicine laboratory, with calibrated electronic dosimeters, checking the proper functioning and accuracy of the proposed device (Larrondo Muguercia, R., Miyares Díaz, E. & González Angulo, 2012; Mendoza et al., 2014).

Keywords: Radiations, Unmanned Aerial Vehicle, Internet of Things, Meters, Geiger Müller counter.

Capítulo 1. Introducción

Las radiaciones ionizantes forman parte de la vida cotidiana de los seres vivos, es por ello que su sobre exposición puede generar riesgos letales o subletales (Foradori, 2007). Es la que produce efectos inmediatos en los tejidos humanos y es emitida por los rayos X, los rayos gamma y el bombardeo de partículas. Este tipo de radiación se utiliza para realizar exámenes y tratamientos médicos. La exposición a la radiación se puede presentar como alta y única (aguda), o puede presentarse en una serie de pequeñas exposiciones esparcidas en el tiempo. La exposición puede ser accidental o intencional, como en la radioterapia. La enfermedad por radiación generalmente se asocia con la exposición aguda y se presenta con un conjunto de síntomas muy característicos que aparecen de forma ordenada; para el caso por exposición crónica, suele asociarse a problemas de salud que aparecen más tarde, como el cáncer o el envejecimiento prematuro, que pueden suceder en un período largo de tiempo. El riesgo de cáncer depende de la dosis y comienza a acumularse incluso si las dosis son muy bajas, para ello no existe un “*umbral mínimo*” (Güerci & Córdoba, 2015; Nejaim et al., 2015; Valverde André, Cózar León, González Vasserot, & Díaz Infante, 2017). La gravedad de los síntomas y la enfermedad dependen del tipo y cantidad de radiación, la duración de la exposición y la parte del cuerpo que estuvo expuesta. La médula ósea y el tubo digestivo son especialmente sensibles a una lesión por radiación. Los niños y los bebés que aún están en el útero son más propensos a que la radiación les cause lesiones graves.

No todos los lugares de la tierra presentan el mismo nivel de radiaciones ionizantes, por ejemplo cuando ascendemos a una montaña la radiación cósmica es más intensa, lo mismo ocurre cuando se viaja en avión; además de esta variabilidad geográfica, determinadas actividades, tales como la fabricación de cerámica, la producción de fertilizantes, o la extracción de gas o petróleo, se encuentran dentro de ellos una serie de radionúclidos de origen natural que aumentan la dosis de exposición radioactiva no sólo en

los trabajadores o personal ocupacionalmente expuesto sino también al público en general. En este trabajo se pretende cuantificar la tasa de exposición (X/t), a la que son sometidas las personas en general, basados en parámetros tales como temperatura, presión, proximidad, altitud y latitud. Con estas valoraciones se podrá determinar los efectos producidos por las radiaciones ionizantes, en los seres humanos, lo que pone de manifiesto la elaboración de protocolos de protección radiológica, para mitigar el impacto que podría producirse en un momento determinado.

Puesto que la radiación ionizante no es perceptible por los sentidos, es necesario utilizar instrumentos apropiados para detectar su presencia que permitan indicar la cantidad de rayos ionizantes que un sujeto puede haber absorbido o aplicado, este tipo de dispositivos son conocidos como dosímetros o medidores de radiación (Aldana & Forero, s/f; Vitorero Udías, 2013), que pueden ser de dosimetría personal o de área. En cuanto a la dosimetría personal, dosímetros termoluminiscentes son los más utilizados, sin embargo, su principal inconveniente es la falta de mediciones en tiempo real. Cada dosímetro personal debe ser transferido al menos una vez al mes a un centro especializado para medición de la radiación recibida, no hay posibilidad de conocer determinados períodos de tiempo con dosis más altas durante el periodo de tiempo que este en revisión. Respecto a la dosimetría de área, la mayoría de los dispositivos utilizados carecen de cualquier conexión a sistemas remotos con el fin de recibir la dosis, generalmente la forma de obtener los datos ha de estar en frente del dosímetro y para verificar la dosis, por otra parte, este tipo de dispositivos almacenan los valores medios de radiación en períodos temporales específicos, los datos son liberados después de cada periodo para restringir el almacenamiento de la información. Para llevar a cabo una evaluación posterior de la radiación emitida, no será posible acceder a los valores de radiación fuera del período actual o específico (Estévez Echanique, 2018).

Los principales inconvenientes con los dispositivos de medición de radiación ionizante son: a) almacenamiento limitado, existen dispositivos que pueden almacenar la radiación captada internamente. Sin embargo, debido a la capacidad de memoria limitada de estos dispositivos, no es posible tener una gran cantidad de datos almacenados. b) Flexibilidad escasa, la mayoría de los dispositivos no permiten la recolección de datos en cualquier otra forma que la establecida por el fabricante. En el caso particular de los dosímetros termoluminiscentes personales, donde se puede acceder a los datos almacenados, la recogida de radiación debe ser detenido y ser sustituido por otro dispositivo mientras se accede a los datos. c) Alto costo, aquellas alternativas que tienen alguna capacidad de almacenamiento y ofrecen resultados en, las dosis de radiación precisas en tiempo real tienen un claro impacto en el costo. d) Depende del fabricante, cualquier modificación del firmware del dispositivo para adaptarla a las nuevas condiciones no es posible por las restricciones que establezca el fabricante (Arias, 2006).

Como es sabido, la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP), determinó como límite permisible de 20 mSv/año promediados a un período de 5 años para personas ocupacionalmente expuestas (ICRP, 2007) y exposición corporal total. En Colombia se acogió estas disposiciones de la ICRP, para aplicarla en dosimetría ambiental que permitan obtener la información de la dosis de exposición por radiación natural. En este sentido, diseñar e implementar un sistema inteligente que haga posible realizar las mediciones, requiere de ciertas características que necesitan considerar a la hora de realizar las mediciones para tales efectos: precisión, condiciones ambientales (existen límites de temperatura/humedad), alcance (límite de medición), calibración (esencial para la mayoría de los dispositivos de medición, una vez que las lecturas cambien con el tiempo), poder de decisión (mayor incremento detectado por el medidor), costo, repetición (la lectura que varía es repetidamente medida dentro del mismo ambiente) (Fundación Telefónica, 2011).

Este trabajo cuenta con una Application Programming Interface (API) que incorpora el conjunto de reglas y especificaciones de código para gestionar la comunicación entre programas diferentes (Benitez Machado, Calderon, & Plasencia Moreno, 2016; Godoy, Sosa, Neis, & Redondo, 2014; Guerrero-Ibañez et al., 2017), de la misma manera en que la interfaz de usuario facilita la interacción humano-software, por lo que el tipo de medidor entre las amplias posibilidades existen después de que cumpla con las especificaciones mencionadas en el párrafo anterior para dosimetría ambiental y las variables que se pretendan medir se podrá utilizar, lo que contribuye en la escalabilidad del sistema, pues le proporciona estar preparado para reaccionar y adaptarse a cualquier medidor que mejore el funcionamiento del sistema; está API recibe la información de las mediciones realizadas por los diferentes medidores conectados y procesados en el microcontrolador Particle Electron que está destinado principalmente para aplicaciones "máquina a máquina" (M2M), con un alto valor de IoT para realizar lecturas de medidores o controlar dispositivos y que puede conectarse a casi cualquier lugar del mundo donde haya una red inalámbrica móvil 2G o 3G para envío de mensajes relativamente pequeños entre el dispositivo y la nube.

En este sentido, los medidores utilizados son: El contador Geiger Müller (GM) utilizado es el modelo: NGMC-V1 (TOISAD, 2012), el medidor de temperatura y humedad DHT11, el medidor UV Grove: referencia 101020043, medidor de presión y altura para medir presiones barométricas. Gracias a estos dispositivos de baja escala y sistemas embebidos de bajo costo, y con la tarjeta de desarrollo IoT Particle Electron, desarrolladas por la empresa Particle, basada en un microcontrolador con conexión a Internet a través del módulo Global System for Mobile Communications (GSM) / General Packet Radio Service (GPRS), se pueden publicar los datos capturados por los medidores en la nube de las variables digitales o analógicas para su posterior procesamiento (Particle, 2017). Con todas estas tecnologías se ha desarrollado un sistema que permite la cuantificación de la tasa de exposición de radiaciones ionizantes, utilizando herramientas de código abierto

como Node.js (Tilkov & Verivue, 2010) que es un entorno en tiempo de ejecución multiplataforma con licencia del Massachusetts Institute of Technology (MIT), está licencia de software libre permisiva, reutilizar software dentro de software propietario, siendo compatible con muchas licencias copyleft, como la GNU General Public License (GPL), entre otros, pero no al contrario.

Adicionalmente, se utiliza en este trabajo un sistema de piloto automático de código abierto orientado a aeronaves autónomas de bajo costo con la controladora de vuelo Pixhawk; esta controladora permite un vuelo totalmente autónomo basado en puntos de ruta, con planificación de misiones y telemetría en tiempo real a través de la potente estación de control terrestre y cuenta con Global Positioning System (GPS) (Iguan Baño, 2017; Lin & Qi, 2016; Mera Chamorro & Ruano González, 2019). Con esta controladora de vuelo, utilizando Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) con una combinación de acelerómetros, giróscopos, medidor LIDAR y a veces magnetómetros, el procesamiento de los datos y algoritmo de evasión de obstáculos que es manejado desde una Raspberry Pi es posible replantear el vuelo del dron a través del protocolo de comunicaciones MavLink, lo que posibilita el transporte del dispositivo de medición desarrollado en zonas de difícil acceso.

En cuanto al sistema de medición utilizado se le realizó su respectiva calibración de acuerdo a protocolos estándares usados por el laboratorio secundario autorizado en el país para tales menesteres y se caracterizó un lote de 10 dosímetros Geiger Müller para la medición de la tasa de exposición y basado en ella calcular la dosis equivalente ambiental, dosis H, obteniéndose los factores de: Cero dosis, Sensibilidad individual, calibración del irradiador de mesa local respecto al banco de la calibración, pérdida de información (fading) y homogeneidad del lote, para la selección de las diferentes áreas en las ciudades correspondientes a este estudio se utilizará el método de muestreo aleatorio estratificado

con afijación proporcional (Ruiz Peláez & Rodríguez Malagón, 2015), con una confiabilidad del 90%. Según la bibliografía del ICRP estos sistemas deben estar calibrados para que la respuesta este en un rango de (-33% hasta +50%).

En este trabajo se describe la metodología adaptada a un esquema de investigación llamado Modelo Integral para el Profesional en Ingeniería (Serrano Castaño, 2002), está enmarcado dentro de un tipo de investigación cuantitativa, cuyo alcance se encuentra definido en el aspecto correlacional. Las variables de correlación como: temperatura, presión, tasa de exposición (X/t), altura, proximidad, longitud y latitud se cuantificarán de tal modo que permitirán inferir la información suficiente y necesaria en el proceso de medición de la dosis de radiación absorbida por los habitantes del litoral Caribe Colombiano, cuando estos se exponen a la radiación solar.

Capítulo 2. Planteamiento de la Investigación

2.1 Justificación.

La Agencia de Proyectos de Investigación Avanzados de Defensa, más conocida por su acrónimo DARPA (del inglés, Defense Advanced Research Projects Agency) ha impulsado el desarrollo de tecnología para robots móviles autónomos, como lo son humanoides, vehículos aéreos no tripulados (VANTs) y robots de servicio (Vidal, Barcelos, & Rosa, 2015) conocidos como drones, estos últimos, han tenido un crecimiento exponencial con diversas funcionalidades (Liu et al., 2015) como, por ejemplo: monitoreo agroindustrial, inspección aérea, búsqueda y rescate, investigación, conteo automático de ganado, e incluso análisis del estado de cosechas, entre otras. Algunas de estas actividades se realizan en exteriores como interiores en ambientes densamente poblados, donde el Global Positioning System (GPS) queda limitado por pérdida de señal o los posibles obstáculos que dificulten su capacidad de navegación, por ello construir software que pueda acceder a la información que el dron internamente dispone y en consecuencia controlarlo de forma autónoma acerca a una capacidad deseada para estos dispositivos, lo que mejora su manipulación con eficacia y robustez para tomar decisiones significativas de navegación (Zhou et al., 2015). Este beneficio contribuye en la investigación toda vez que los datos a cuantificar se realizarán en ambientes exteriores en consideración de la estatura promedio de una persona (Meisel, Adolfo; Vega, 2004) expuesta al sol y en un entorno donde la radiación está presente en todas partes de manera natural, teniendo en cuenta que la radiación natural establece la fracción más significativa de dosis recibida de manera colectiva por los organismos vivos; esta tiene un promedio de 2.4 mSv/año, de los cuales 0,38 a 2,0 corresponden a los rayos cósmicos, 0,43 a 4,3 a la corteza terrestre y 1.2 a 10 mSv de exposición de Radón al año (González, 1994).

Las radiaciones ionizantes son invisibles, silenciosas, inodoras, insípidas y no pueden tocarse, en definitiva, no podemos detectarlas con nuestros sentidos; sin embargo,

se pueden detectar y medir. En este sentido no existe en Colombia un estudio sobre la cuantificación de la dosis de radiación recibida por las personas cuando se someten a exposiciones solares, conocido como equivalente de dosis (H), el hecho de no detectarlas o percibir las con nuestros sentidos podría llevar a pensar a que no pueden provocar ningún efecto biológico. Sin embargo, sí es posible reconocer su existencia por los efectos que ocasionan, por su capacidad de ionizar la materia y de ser absorbidas por la misma. Precisamente la necesidad de su cuantificación está derivada de la producción de una serie de efectos nocivos sobre los organismos vivos. Lo anterior hace necesario un estudio sobre la radiación recibida por los seres vivos y estrategias de prevención de los efectos negativos de estas radiaciones.

Al estar expuesto demasiado tiempo a la radiación ionizante, existe la posibilidad de que algunos factores como la dosis de radiación afecten adversamente al tejido vivo, aún más producirse daños letales dependiendo del tipo de radiación a la cual es sometido. Otros de los aspectos a tener en cuenta son: sexo, dieta, características personales, estilo de vida y condiciones de salud. La exposición a la radiación ionizante puede proceder de muchas fuentes, tales como exposición a desechos peligrosos que contienen materiales radiactivos, por ejemplo, la Agencia de Protección del Medio Ambiente de EE.UU. (EPA) identifica los sitios de desechos peligrosos más serios, estos sitios constituyen la Lista de Prioridades Nacionales (NPL) y son los sitios elegidos para limpieza a largo plazo por parte del gobierno federal (Environmental Protection Agency, 2016). Pero, no se sabe en cuantos de los sitios actualmente en la NPL o que formaron parte de la NPL en el pasado se ha buscado la radiación ionizante; en cuanto se evalúan más sitios, este número puede aumentar. Esta información es importante porque la exposición a la radiación ionizante puede perjudicar a las personas y estos sitios pueden constituir fuentes de exposición; por lo que este proyecto se constituye en un documento de gran beneficio para el proceso de detección y dosimetría ambiental de radiación. Los datos recolectados, a través del dron en las zonas con abundante radiación cósmica generada por el sol permiten identificar

beneficios que ayuden a las instituciones gubernamentales a implementar protocolos de prevención ante afectaciones a la salud.

El uso del dron permite que los tiempos de exposición para la toma de datos en que éste estará sometido, no le producirán efecto nocivo como bien podría suceder en un ser humano con la radiación ionizante, como es el caso de datos alusivos a la proporción de mujeres con infertilidad primaria es mayor en zonas de alta radiación natural (Hendry et al., 2014; Tabarraie, Y., Refahi, S., Dehghan, M.H., Mashoufi, 2008), así mismo existen estudios que concluyen que la radiación en bajas dosis causarían efectos imperceptibles (W. Zhang et al., 2003), entre otros, por ello utilizar un dron es conveniente para protección y permitir usar mayor cantidad de dosímetros para abarcar la mayor área posible.

En este sentido, en este trabajo se implementa el diseño, desarrollo y validación de un sistema de medición de dosimetría ambiental portátil de bajo costo, código abierto, para recoger la radiación ionizante en tiempo real, que permite obtener datos de la radiación promedio en diferentes periodos temporales y la radiación acumulada recibida por las personas en el medio. La solución es ofrecida por un dispositivo que contiene un detector Geiger-Müller y todas las tarjetas electrónicas necesarias (hardware y software) para enviar los valores de dosis a una base de datos remota.

2.2 Problema de la Investigación.

Las radiaciones ionizantes forman parte de nuestra vida cotidiana, como lo menciona Eric J.Hall, Profesor de la Universidad de Columbia - Nueva York: *"La vida en la tierra se ha desarrollado en presencia de radiación. La radiación siempre ha estado aquí"* (Real, 2016 p. 6), puede tener orígenes muy diversos: los rayos cósmicos, la tierra, el cuerpo humano o el aire que respiramos; tres cuartas partes de la radioactividad que hay

en el medio ambiente proceden de los elementos naturales. Las radiaciones son formas de energía que se emiten básicamente de dos maneras: partículas y fotones. Las primeras al interactuar con la materia, la ionizan en primeras colisiones, acción que se conoce como radiaciones directamente ionizantes. Las segundas están formadas por las partículas no cargadas como los fotones, los neutrinos o los neutrones, que al atravesar la materia interaccionan con ella produciendo partículas cargadas siendo éstas las que ionizan a otros átomos, lo que se le conoce con el nombre de radiaciones indirectamente ionizante (Wrixon, A. D., Barraclough, I., & Clark, 2004). Es sabido que estos tipos de radiaciones producen en los seres vivos varios tipos de afectaciones como laceraciones, necrosis, cáncer etc. cuando su exposición es prolongada en el tiempo (Attix, 2004; Khan, F. M., & Gibbons, 2014).

No existe en Colombia un estudio sobre la cuantificación de la dosis de radiación recibida por las personas cuando se someten a exposiciones solares, conocido como equivalente de dosis (H), de acuerdo con la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP). En esta investigación se medirá la dosis de radiación recibida por las personas al exponerse en una zona al sol del Caribe Colombiano y se calculará con base en ella el equivalente de dosis y la tasa de exposición (X), para lo cual se ensambló un robot con medidores que facilite cuantificar la dosis de radiación que reciben las personas cada vez que se exponen al sol, utilizando para ello un vehículo aéreo comercial de bajo costo también conocido como Unmanned Aerial Vehicle (UAV) o dron (Chao et al., 2013). Los datos recolectados de forma local en los medidores conectados a la plataforma particle.io se sincronizaran con los servicios en la nube, del lado del servidor se construirá una plataforma híbrida bajo metodología Mobile First (Suarez Fernandez, 2017) para acceso a los clientes en la recepción, envío y monitoreo de los servicios dispuestos en la nube para a la información recolectada en las zonas de estudio, a través del diseño adaptativo los clientes podrán acceder bajo cualquier plataforma (celular, Smart TV, Laptop, PC escritorio, tabletas, entre otros). Se busca analizar la información cuantificada para que

sea usada en determinar los protocolos de prevención necesarios (Larrondo Muguercia, R., Miyares Díaz, E. & González Angulo, 2012; Mendoza et al., 2014) para contrarrestar los efectos negativos de la radiación en las personas.

Colombia es un país que se encuentra dividido en seis (6) regiones, de las cuales se tomó para este estudio una ciudad de la región Caribe de Colombia, ubicada en la parte norte de Colombia y de América del Sur, debe su nombre al Mar Caribe, con el cual limita al norte. Sus principales centros urbanos son: Barranquilla, Cartagena de Indias, Santa Marta, Valledupar, Montería, Sincelejo y Riohacha, poblacionalmente representa el 21,4% del total de los colombianos (Reina, Aguilera, Orozco, Yabrudi, & Barcos, 2013); es la región natural continental y marítima más septentrional del país, lo que la convierte en la más insolada, por ende, donde se encuentra el mayor número de personas afectas por la exposición de la radiación solar, que corresponde en promedio anual de 5.7 Kwh/m² (C. Sánchez, Rodríguez, Collante, & Simbaqueva, 2005), este tipo de exposición natural puede generar daños letales y subletales en las personas.

Las radiaciones ionizantes están compuestas por radiaciones electromagnéticas de alta energía, de más de 10 keV, rayos X y rayos γ (rayos gamma) como por radiación corpuscular o partículas α (alfa), β (beta) y neutrones que son capaces de estimular, ya sea directa o indirectamente, la formación de iones. La ionización que resulta perturba químicamente los átomos y las moléculas de los tejidos vivos, y así puede causar cambios celulares. Los efectos de la exposición a dosis bajas de radiaciones ionizantes (efectos estocásticos) son frecuentemente notorios sólo varios años después de la exposición, y por consecuencia es difícil establecer una relación clara de causa/efecto y precisar los límites seguros de exposición. Los organismos vivos que absorben pequeñas dosis de radiación pueden no exponer de inmediato, ningún efecto biológico manifiesto, los cuales pueden aparecer tiempo posterior de la exposición; estos efectos biológicos tardíos, son conocidos

como efectos estocásticos (probabilísticos) de la radiación. Sin embargo, cuando las dosis son altas, logran aparecer de inmediato daños perceptibles en los tejidos y órganos, estos son conocidos como efectos deterministas o inmediatos de la radiación (Wrixon, A. D., Barraclough, I., & Clark, 2004). En el hombre, la exposición a la radiación UV-B disminuye sensiblemente su capacidad inmunológica, el principal efecto es la aparición de cáncer de piel. Es igualmente significativa la acción sobre los ojos, provocando la formación de cataratas, deformación del cristalino y presbicia. Aumenta también el riesgo de dermatitis alérgica y tóxica, complica las quemaduras de sol y produce una vejez prematura sobre la piel (Gallegos-Hernández, 2008). En animales y plantas se producen efectos adversos serios sobre la agricultura (reduciendo directamente el crecimiento de las plantas) disminuyendo su productividad. Las implicaciones anteriores, representan un interés social a mitigar los problemas mencionados, e implementar el uso de aplicaciones clínicas y de protección radiológica con los protocolos estándares existentes que se fundamentan en la dosis promediada, al igual, que su respectiva ponderación de cada parte del cuerpo, lo que permite extrapolar una dosis corporal completa.

¿Cómo medir la radiación ionizante recibida por los habitantes del litoral Caribe Colombiano, de tal manera que sea posible obtener el promedio de la dosis absorbida que reciben a través de dispositivo de medición de bajo costo?

¿Cómo presentar los resultados de la medición de radiación ionizante ambiental para que los datos sean usados para disminuir el riesgo de daños en la salud de las personas?

2.3 Preguntas de Investigación.

En este trabajo se utilizó un dron que permitió aumentar los tiempos y zonas de exposición solar en el Caribe Colombiano, lo que tributa a una adquisición de datos mucho más elevada, lo cual es importante para el manejo de la estadística. En este sentido se parte del hecho de que cualquier dosis de radiación ionizante, por baja que sea, puede provocar daños en la salud de las personas expuestas a ellas, en términos de prevención de los riesgos para la salud, se sigue el principio ALARA - As Low As Reasonably Achievable (Newman & Callahan, 2011), de que las exposiciones a radiaciones ionizantes deben ser lo más bajas posibles. Basado en lo anterior surgen los siguientes interrogantes:

¿Cómo cuantificar en promedio la dosis absorbida de radiación ionizante que reciben las personas que habitan en el Caribe Colombiano?

¿Qué medidores de radiación ionizante utilizar para obtener información confiable mediante un dron?

¿Es posible utilizar un algoritmo que permita a través del vuelo de un dron multirrotores capturar datos utilizando medidores de radiación?

¿Qué métodos de convalidación serán implementados para el proceso de medición de la dosis absorbida de radiación ionizante recibida por las personas que habitan el Caribe Colombiano?

2.4 Objetivos.

2.4.1 Objetivo General

Optimizar un robot multirrotor, dotado de medidores, mediante el desarrollo de algoritmos computacionales, que permita la captura de datos en tiempo real en el proceso de dosimetría ambiental, para cuantificar las radiaciones ionizantes presentes en el medio.

2.4.2 Objetivos Específicos

- ✓ Diseñar y ensamblar la arquitectura de hardware de un medidor para medición de radiación ionizante que contenga contador Geiger, de humedad, temperatura y radiación UV, que permitan realizar dosimetría ambiental.
- ✓ Modificar una nave voladora no tripulada (dron) de tal forma que permita por medio de un medidor Laser Imaging Detection and Ranging (LIDAR) y el uso de Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) el transporte del dispositivo de medición de radiación ionizante en zonas de difícil acceso.
- ✓ Desarrollar un algoritmo computacional que permita la captura de datos en tiempo real y la cuantificación de las radiaciones ionizante presentes en el medio.
- ✓ Validar la implementación de los algoritmos usados en la cuantificación de los parámetros de radiaciones UV y Gamma, humedad, temperatura, y presión atmosférica, mediante pruebas de evaluación experimental.

Capítulo 3. Marco Teórico

El vertiginoso avance de la tecnología permite que la sociedad adopte el hábito de tener información y manejo de recursos de forma oportuna. Las tecnologías ubicuas y la evolución de la robótica en los últimos años, han cambiado la forma en la que se realizan las tareas a tal punto de replantear la manera de realizar las actividades. Existen diversas posibilidades con diferentes tecnologías para evaluar la georreferenciación de los usuarios, los dispositivos móviles tienen incorporados acelerómetros, giroscopios, GPS, entre otros donde estas innovaciones expanden la construcción de soluciones informáticas, permitiendo dar vida a aplicaciones que se pueden implantar de forma práctica; por otro lado, los robots están apareciendo en los salones de clases en distintas formas. Los programas educacionales utilizan la simulación de control de robots como un medio de enseñanza (Miglino, Lund, & Cardaci, 2014). Una serie de manipuladores de bajo costo, robots móviles, y sistemas completos han sido desarrollados para su utilización en los laboratorios educacionales. En este sentido la propuesta de medición de la radiación en este trabajo es un paso adelante, que resuelve diversos problemas presentados por los sistemas actuales.

3.1 Radiación Solar

El Sol transmite energía en todas las direcciones, con un espectro cercano al de un cuerpo negro (es un objeto teórico o ideal que absorbe toda la luz y toda la energía radiante que incide sobre él, emite energía siguiendo la ley de Planck) aproximadamente 5.777 Kelvin, alrededor de 5.504° Celsius (Capuano & Martín, 2005; García-Barreto, 2008), debido a la inclinación de la Tierra y su recorrido variable en las diferentes épocas del año, la radiación en un lugar determinado se puede alterar en un alto porcentaje, como la ubicación en una zona tropical, entre otros factores que permiten mantener el equilibrio térmico de la Tierra para evacuar la radiación solar, como 28% reflejada por las nubes, 5% la absorben tanto nubes como polvo, 17% gases atmosféricos como el vapor de agua, 0,2%

las plantas, 21% superficie terrestre, 26% el agua, entre otros, causan variaciones en la radiación recibida (Erazo Parga & Cárdenas Romero, 2013). Poseer un conocimiento de la radiación solar incidente sobre la superficie terrestre es importante para una variedad de aplicaciones desde la agricultura, salud, calentamiento global y obtención de energía con el recurso solar.

Existen tres componentes en el espectro de luz solar, ultravioleta, visible e infrarrojo los cuales son referidos en conjunto como radiación solar (ver figura 1). La radiación ultravioleta es subdividida en tres regiones: UVA de 400 a 320 nm, UVB de 320 a 290 nm y UVC de 290 a 100 nm. UVC es absorbida por la atmosfera y no llega a la superficie terrestre. UVB es dañina biológicamente, pero la mayor parte de esta radiación es absorbida por la atmosfera. UVA es la radiación UV más intensa que llega a la tierra y puede penetrar el tejido, sin embargo, no es tan dañina como la radiación UVB, pero, la pérdida de ozono en la atmosfera terrestre ha causado que la radiación UVB penetre más fácilmente a la atmosfera terrestre (González-Púmariega, Vernhes Tamayo, & Sánchez-Lamar, 2009).

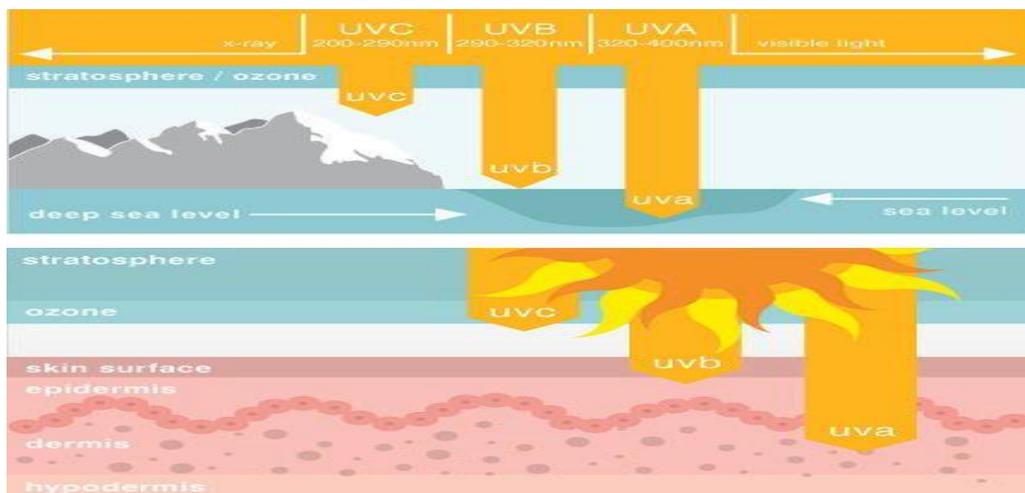


Figura 1. Tipos de rayos UV

Fuente: Sun Science, disponible en: <https://goo.gl/ekp347>.

La piel es el órgano con mayor tamaño del cuerpo, protege los órganos de la temperatura, la luz solar, las heridas y las infecciones. La piel tiene dos capas principales: la epidermis, capa externa y la dermis, capa interna (Institutos Nacionales de la Salud - NIH, 2014). Los tumores malignos de la piel son los tipos de cáncer más diagnosticados en el mundo, entre sus causas se encuentran la exposición a la radiación UV proveniente de los rayos del sol, esta enfermedad, típicamente vista en adultos mayores, esto debido a que el daño por radiaciones ultravioleta es acumulativo (Miller & Mihm, 2006; Siegel, Miller, & Jemal, 2017). El cáncer de piel puede ser clasificado como melanoma o no-melanoma (este tipo incluye al carcinoma espino celular y carcinoma de célula basal también llamado basalioma o carcinoma basocelular), el más común es cáncer de célula basal. El cáncer de piel es el más diagnosticado de todos los cánceres, los melanomas tienen una alta letalidad y el índice de mortalidad ha aumentado en las últimas décadas, especialmente entre las mujeres menores y mayores (American Cancer Society, 2016). En este proyecto utilizando Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) apoyando en herramientas IoT, permite que su integración con el uso de sensores permitirá cuantificar la dosis de luz solar y la radiación cósmica, compuesta principalmente por el espectro de luz así: ultravioleta (100 a 400 nm), luz visible (400 a 760 nm) e infrarroja (760 a 1.800 nm), aunque también están presentes longitudes de onda corta (ionizantes), y onda larga (microondas y radiofrecuencia); sus efectos de penetración a la atmosfera terrestre son variantes acordes a los efectos de cambio climático (Morales, C., & López-Nevot, 2006). En un día de verano, la UVB comprende aproximadamente el 5% de la radiación UV, y la UVA el 95% restante. Sin embargo, la UVB contribuye con cerca del 80% de los efectos dañinos que se asocian a la exposición solar, la UVA sólo produce el 20% restante (Diffey, 1998; Wharton & Cockerell, 1998; WHO, 1994). Se pretende cuantificar la variable correspondiente a radiación UV absorbida por las personas en el litoral Caribe Colombiano, como una herramienta que permita establecer para las áreas de la salud protocolos de prevención.

3.1.1 Radiación Solar en Colombia

La radiación solar global se constituye como una variable complicada de monitorear; su estimación es necesaria para comprender los procesos biológicos y químicos del ambiente; esta estimación podría realizarse mediante procesos de posicionamiento o formulas empíricas, pero la exactitud de los resultados así obtenidos no es conveniente para el entendimiento de los procesos de evaluados. Además, se debe considerar que la medición de la radiación solar no está disponible para todos los países del mundo debido a dificultades técnicas (Benmouiza & Cheknane, 2013) y a la escases de red de estaciones que permitan las correlaciones de valores medidos (Bojanowski, Donatelli, Skidmore, & Vrieling, 2013), en Colombia el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) cuenta con estaciones para cuantificar radiación solar, temperatura, humedad relativa y horas de sol; este proyecto incluye la posibilidad de medir radiación ionizante y la portabilidad de transportar los medidores a diferentes alturas.

El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) en Colombia en el año 2005 publicó el segundo atlas de radiación solar en Colombia; en este se representa un conjunto de mapas con la distribución espacial del potencial energético solar de Colombia; el atlas presenta el valor promedio diario de radiación solar global, brillo y radiación ultravioleta solar que incide sobre una superficie plana por metro cuadrado de la superficie en Colombia. En cada variable se exponen los valores promedio en el tiempo mediante 13 mapas, uno para cada mes del año y un mapa promedio anual (C. Sánchez et al., 2005). Los niveles de radiación solar cambian durante el día y a lo largo del año, presentándose los mayores niveles entre las 10 a.m. y las 2 p.m. cuando el sol se encuentra en su punto de elevación más alto, aproximadamente el 60% de la radiación es recibida a estas horas, cuando el ángulo del sol está más colindante con el horizonte, llega menos radiación a la superficie de la Tierra debido a que atraviesa una distancia más larga en la atmósfera, dando lugar a una mayor absorción con moléculas de ozono. En zonas

18

diferentes a los trópicos los máximos niveles se presentan en los meses de verano alrededor del mediodía; por ello el litoral Caribe Colombiano se convierte en una zona de estudio ideal para la utilización del robot de este proyecto, según datos del IDEAM (2014), muchas de ciudades principales como Valledupar, Santa Marta, Montería, Sincelejo, entre otras se pueden encontrar temperaturas de hasta 39,8°C y en promedio de 29,8°C.

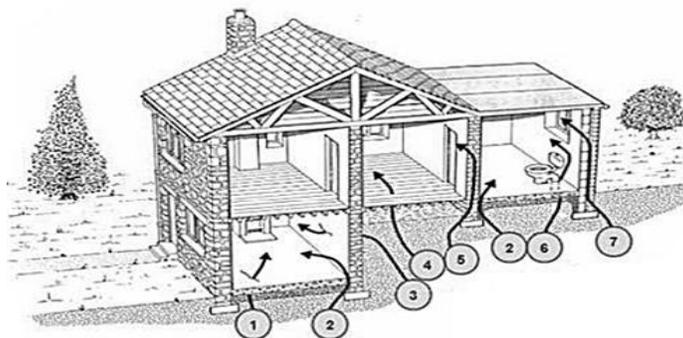
Entre los múltiples factores de riesgo para el desarrollo de cáncer de piel, que es el más frecuente de todos; se describen los antecedentes familiares, la presencia en la piel de un gran número de lunares, el sufrimiento de quemaduras solares con ampollas en la infancia y tener piel blanca con ojos claros; sin embargo, el principal factor es la exposición excesiva a la radiación ultravioleta del sol; según la Asociación Española Contra el Cáncer (AECC, 2016) *“estas radiaciones son capaces de producir mutaciones en el material genético (ADN) de las células que componen la epidermis (capa más superficial de la piel) e impedir su reparación, iniciándose así el proceso de la carcinogénesis o formación de un cáncer”* (párr. 3). Esta enfermedad, en todas sus modalidades y en etapas iniciales, no presenta síntomas y puede confundirse con procesos presuntamente inflamatorios o simples manchas. De acuerdo con el último estudio de incidencia del cáncer de piel en Colombia, se presentó un incremento en el número de casos de la enfermedad. Es así, que las tasas nacionales pasaron de 23 casos por 100 mil habitantes en el 2003 a 41 casos por 100 mil habitantes en el 2007, es decir, cerca de 1.500 pacientes nuevos cada año (Caracol Radio, 2014; G. Sánchez, Nova, De La Hoz, & Castañeda, 2011).

3.1.2 Radiación Ionizante

La radiación cósmica es una radiación ionizante que proviene del espacio exterior, consiste en partículas altamente energéticas de origen extraterrestre que bombardean la superficie de la Tierra, tales como protones y partículas secundarias como fotones, neutrones y muones que pueden generarse por las interacciones de las partículas primarias

con gases de la atmósfera, constituyen junto a las partículas del suelo y del agua la radiación de fondo (Wrixon, A. D., Barraclough, I., & Clark, 2004), donde las fuentes más comunes de exposición son las prácticas médicas (medicina diagnóstica y terapéutica), las prácticas industriales u ocupacionales, los productos de consumo, el ambiente (fuentes naturales: suelo, agua o vegetación) y las exposiciones accidentales por fugas radiactivas.

La mayor contribución a la dosis media recibida por las personas procede de la propia Tierra. En el subsuelo e inclusive el organismo humano existen grandes cantidades de uranio, torio, entre otros elementos radiactivos que impregnan de radiactividad todo sobre el planeta. Además, el uranio, al desintegrarse de forma natural, provoca la aparición del gas radón, que se propaga a través de las grietas y poros del suelo y de los materiales de construcción, alcanzando el aire que respiramos, siendo especialmente significativa su influencia en el interior de los edificios e inclusive casas como se muestra en la figura 2 (Environmental Protection Agency, 2005), ya que al aire libre se dispersa con más facilidad. Los productos de la desintegración del radón, sus descendientes, son también radiactivos, y quedan normalmente unidos a las partículas de polvo presentes en el aire de forma sólida. Las cantidades de radón, torón (fruto de la desintegración del torio) y sus descendientes varían enormemente según el tipo de rocas que formen el suelo y los materiales con que estén construidos los edificios, como también influye mucho el tipo de ventilación de los edificios (Wong, 2010).



1. Grietas en el suelo.
2. Juntas Constructivas.
3. Grietas en las paredes a diferentes niveles.
4. Huecos en los forjados.
5. Grietas en las paredes.
6. Sumideros y desagües.
7. Huecos en las paredes.

Figura 2. Como el Gas Radón Entra al Hogar.

La radiación se puede cuantificar como dosis absorbida o cantidad de energía de radiación ionizante depositada por unidad de masa de material irradiado, cuya unidad en el sistema internacional es el Gray. La energía media depositada a lo largo del recorrido de una partícula por unidad de longitud se denomina transferencia lineal de energía (LET). Los rayos X y rayos γ (rayos gamma) son radiaciones de baja LET. Las radiaciones corpusculares α (alfa), β (beta) y neutrones, son de alta LET. La distribución de la energía absorbida, en otras palabras, la forma el patrón de deposición de la energía, influye en el daño biológico de un determinado tipo de radiación. También se cuenta con el concepto de dosis efectiva, que permite comparar el daño biológico de la dosis absorbida en diferentes órganos o tejidos. La dosis efectiva se puede estimar utilizando los factores de ponderación de tejidos u órganos, obtenidos a partir de la sensibilidad de estos a la inducción de tumores por las radiaciones ionizantes (Cancio Pérez, 2008). A medida que aumenta el uso de las radiaciones ionizantes también lo hacen los posibles peligros para la salud si no se utilizan o contienen adecuadamente, cuando las dosis de radiación superan determinados niveles pueden tener efectos agudos en la salud, tales como quemaduras cutáneas o síndrome de irradiación aguda, las dosis bajas de radiación ionizante pueden aumentar el riesgo de efectos a largo plazo, tales como el cáncer.

En Colombia la aplicación de radiaciones ionizantes se puede encontrar en servicios tales como: en el área en salud con la radioterapia, la medicina nuclear y el radiodiagnóstico. Con la finalidad de minimizar las dosis de radiación, teniendo en cuenta los aspectos económicos y sociales, el Estado ha implementado a una serie de normas y reglamentaciones, que pretenden controlar el riesgo a la dosis absorbida y propendan hacia la conservación de las personas. En este sentido, con base en la Ley 9 de 1979, “Por la cual se dictan medidas sanitarias” y a la par de esta (Ministerio de salud, 1979), en Colombia, se han determinado normas legislativas en los últimos treinta años frente al tema de las personas profesionalmente expuestas a radiaciones ionizantes para su protección. Éste es el caso del Decreto 1832 del 3 de agosto de 1994 de la legislación colombiana

donde se establece que las radiaciones ionizantes pueden generar enfermedades ocupacionales en acciones o trabajos (Ministerio de Salud, 1994), tales como: extracción y tratamiento de minerales radioactivos, fabricación de aparatos médicos para radioterapia, utilización de sustancias radioactivas y rayos X en laboratorios, fabricación de productos químicos y farmacéuticos radioactivos, fabricación y utilización de productos luminiscentes con sustancias radioactivas, trabajos en las industrias y los comercios que utilicen rayos X o sustancias radioactivas y trabajos en las consultas de radiodiagnóstico, de radioterapia en clínicas, hospitales y demás instituciones prestadoras de servicios de salud y en otros trabajos con exposición a radiaciones ionizantes con alta, mediana, baja y ultrabaja densidad.

Además de existir en todo lo que nos rodea, las radiaciones ionizantes se componen un elemento esencial para el diagnóstico de las enfermedades del ser humano, pero, a su vez, es indefectible estar al tanto de los efectos biológicos cuando se exceden los valores límites permisibles. Como muchos otros agentes físicos, químicos o biológicos, las radiaciones ionizantes son capaces de producir daños orgánicos, debido a que ésta interacciona con los átomos de la materia viva, provocando en ellos el fenómeno de ionización; esto da lugar a cambios importantes en las células, tejidos, órganos y en el individuo en su totalidad. El tipo y la magnitud del daño dependen del tipo de radiación, de su energía, dosis absorbida, zona afectada y tiempo de exposición. Aunque existe la legislación sobre radiación ionizante en Colombia, las personas del común expuestas en su gran mayoría la desconocen además de las zonas en ambientes abiertos puedan generar perjuicios a la salud.

En Colombia, se presentan pocos estudios concernientes, algunos son en modelamiento, caracterización y medición (Torres O. & Salazar, 2005), se han presentado también análisis de la situación nacional y propuesta de norma técnico ambiental sobre

radiaciones electromagnéticas, estos estudios exponen un análisis sobre la Radiation Protection Association (IRPA) frente al tema de la exposición en los ambientes ocupacionales y llegan a la conclusión de que este valor no debe ser excedido en ningún lugar público u ocupacional (Llamosa R. & Torres O., 2003; Skvarca & Aguirre, 2006).

3.2 Medidores

Los medidores (también llamados sensores o detectores) recolectan datos de una gran variedad de fuentes tales como: temperatura, luz, sonido, humedad, entre otros y esto hace que sean sustancialmente diversos por lo que la calidad y eficacia de sus datos pueden variar en los diferentes dispositivos en el tiempo, con datos que dependen comúnmente de la ubicación y son dependientes del tiempo. La medición es la técnica por medio de la cual asignamos un número a una propiedad física, como resultado de una comparación de dicha propiedad con otra similar tomada como patrón, la cual se ha adoptado como unidad. Estos recursos pueden ser ubicuos y quedan en ocasiones limitados por la potencia disponible, la memoria, la capacidad de procesamiento, el acceso, la disponibilidad y las capacidades de comunicación. El carácter diverso, la ubicuidad y la naturaleza dinámica de los recursos junto con el amplio espectro de los datos hacen que las tareas de acceder, procesar, integrar e interpretar los datos de la IoT sea desafiante (Perera, Liu, Jayawardena, & Chen, 2015), se pueden integrar a las infraestructuras urbanas o en los sistemas de distribución de servicios que rodean la ciudad, en todo tipo de vehículos, animales o personas, en general en cualquier objeto que este fijo o en movilidad y que esté conectado a la red de comunicaciones. Sin embargo, el uso de sistemas de control de red - Network Access Control (NCSs) - (L. Zhang, Gao, & Kaynak, 2013), redes de baja potencia y pérdida – over lowpower and lossy networks (LLNs)- (Al-Kaseem, Al-Raweshidy, Al-Dunainawi, & Banitsas, 2017; Gungor et al., 2013; Shah, Shrimali, & Parikh, 2016) permiten apreciar ventajas en el uso de medidores con tecnologías ubicuas sobre sistemas de cable (Gaj, Jasperneite, Member, & Felser, 2013; Güngör et al., 2011); estas ventajas incluyen la

cobertura de red extendida, instalaciones rentables, tecnologías de la automatización que han existido en configuraciones industriales por años, topologías de red organizadas, resiliencia contra el fallo de un nodo único y configuraciones directas; las industrias han comenzado a darse cuenta del valor de aplicar los conceptos de IoT, por ello bajo el termino de Internet Industrial, aprovecha los dispositivos, medidores habilitados y los intermediarios de datos para la conexión de máquina a máquina (M2M) y transmisiones grandes de datos con las personas (Evan C, 2012).

El concepto de la Internet Industrial de las Cosas (IIoT) es presentado como una aplicación de la conectividad de la IoT y servicios Web, con un enfoque adicional en las cuestiones de escalabilidad, confiabilidad seguridad, capacidades predictivas y tecnologías de virtualización operativa. Al habilitar la conectividad de grandes cantidades de medidores se logran recolectar datos de forma mucho más simple, generando un análisis que permanentemente está buscando la mejora las operaciones (Daugherty, Banerjee, & Negm, 2017).

Los detectores o medidores en IoT son el hardware que permite realizar las mediciones, procesos de monitoreo y recolección de datos; son uno de los primeros recursos en lo que se piensa al trabajar con IoT. Los medidores son dispositivos que son comúnmente usados para detectar y responder a las señales eléctricas u ópticas. Un medidor convierte el parámetro físico (por ejemplo: temperatura, presión sanguínea, humedad, velocidad, UV, Geiger, entre otros) en una señal que puede ser medida eléctricamente. Por ejemplo, en el termómetro de vidrio de temperatura, el mercurio se expande y se contrae para obtener la temperatura medida en un tubo de vidrio calibrado (Gubbi, Buyya, Marusic, & Palaniswami, 2013). Los bajos precios de estos pequeños dispositivos mantienen los costos de implantación de IoT asequibles, pero, en algunos casos dependiendo las necesidades de la solución estos costos pueden ser superiores.

Asimismo, la compañía de investigación Zion Research estima que la demanda del mercado relacionado con todo tipo de medidores relacionado con IoT pasará de los USD 4.900 millones de dólares en 2014 a USD 17.810 millones en 2020, con una tasa de crecimiento anual compuesta del 24% entre 2015 y 2020 (IT Digital Media Group, 2016).

3.2.1 Características para selección de medidores en IoT

Existen ciertas características que necesitan ser consideradas a la hora de elegir un medidor: precisión, condiciones ambientales (existen límites de temperatura/humedad), alcance (límite de medición del detector o medidor), calibración (esencial para la mayoría de los dispositivos de medición, una vez que las lecturas cambien con el tiempo), poder de decisión (mayor incremento detectado por el medidor), costo, repetición (la lectura que varía es repetidamente medida dentro del mismo ambiente) (Fundación Telefónica, 2011). Además de esos criterios, existen dos formatos diferentes de medidores o sensores:

Smart Sensor: es la combinación del componente sensor, una interface de circuitos analógicos, un convertidor de señal analógico para digital y una interface de comunicación. es un dispositivo que toma la entrada del entorno físico y utiliza recursos integrados de cálculo para realizar funciones predefinidas al detectar entradas específicas y luego procesar los datos antes de pasarlo; estos dispositivos se usan para monitorear y controlar mecanismos en una amplia variedad de ambientes, incluyendo redes inteligentes, reconocimiento de campo de batalla, exploración y un gran número de aplicaciones científicas (Chi et al., 2014).

Sensor Inteligente: es el sensor que posee una o varias funciones inteligentes, como autopueba, autoidentificación, autoevaluación, autoadaptación, entre otros; estos pueden generar gran cantidad de datos útiles en tiempo real, por ello tienen cierto grado de

capacidad de proceso o almacenamiento de dato y puedan así realizar ciertas tareas de manera autónoma (Sáinz, Iñigo, Raquel, & Sanz, 2013).

3.2.2 Diferentes tipos de medidores

3.2.2.1 Medidores de proximidad

Es un transductor que detecta objetos o señales que se encuentran cerca del medidor. Existen diferentes tipos de medidores de proximidad, según el principio físico que manejan, los más frecuentes son los interruptores de posición, pero es posible encontrar detectores capacitivos, inductivos y los fotoeléctricos, como el de infrarrojos (Purcaru & Gordan, 2017). Los medidores de proximidad pueden detectar movimiento, por ejemplo, un revendedor puede usar la proximidad de un cliente con un producto para enviar información de ofertas y servicios directamente a dispositivos como smatphone, tablets, computadores, entre otros. En otros casos, los medidores de proximidad también pueden ser usados para monitorear la disponibilidad de zonas de estacionamiento en grandes espacios como aeropuertos, centros comerciales y estadios. Se listan a continuación algunos tipos de medidores de proximidad:

Fotoeléctricos: es un dispositivo electrónico que responde al cambio en la intensidad de la luz, el receptor de rayos infrarrojos suele ser un fototransistor o un fotodiodo. Estos medidores requieren de un componente emisor que genera la luz, y un componente receptor que percibe la luz generada por el emisor. Existen tres tipos de medidores fotoeléctricos, los medidores por barrera de luz, reflexión sobre espejo o reflexión sobre objetos (Autonics, s/f; Lee et al., 2017; Liou, 2017; Lv & Chen, 2009; Xu, Guo, Ma, & Wen, 2010).



Figura 3. Medidores fotoeléctricos

Fuente: Techno Injection & Tools SA de CV, disponible en: <https://goo.gl/2D6CXK>.



Figura 4. Medidores LIDAR

Fuente: Velodyne LIDAR, disponible en: <https://goo.gl/hX2vos>.

En este proyecto se utilizará el medidor LIDAR-Lite v3 (ver figura 6), para obtener información de obstáculos en el dron multirroto. Un Light Detection and Ranging o Laser Imaging Detection and Ranging (LIDAR) es un dispositivo que permite determinar la distancia desde un emisor láser a un objeto o superficie utilizando un haz láser pulsado. La

distancia al objeto se determina midiendo el tiempo de retraso entre la emisión del pulso y su detección a través de la señal reflejada. En general, la tecnología LIDAR tiene aplicaciones en geología, sismología y física de la atmósfera (Rodin & Štajduhar, 2017; Singhanian, s/f; Smolyanskiy, Kamenev, Smith, & Birchfield, 2017). Este es un sistema que permite obtener una nube de puntos tomándolos mediante un escáner láser aerotransportado Airbone Laser Scanner (ALS); para realizar este escaneado se adoptan dos movimientos, uno longitudinal dado por la trayectoria y otro perpendicular mediante un espejo móvil que desvía el haz de luz láser emitido por el escáner. Conocer las coordenadas de la nube de puntos requiere la posición del medidor y el ángulo del espejo en cada momento (su principio de funcionamiento se describe en la figura 5). Para ello el sistema se apoya en un sistema GPS y un sensor inercial de navegación (INS). Las principales ventajas de un medidor LIDAR sobre demás tipos de medidores utilizados, radican en que es un sensor activo, la captura de información no depende de variables externas (condiciones meteorológicas, cantidad lumínica, entre otros), asimismo, una alta velocidad de captura que obtiene una gran cantidad de datos en intervalos breves de tiempo, dando al sistema una mayor precisión.

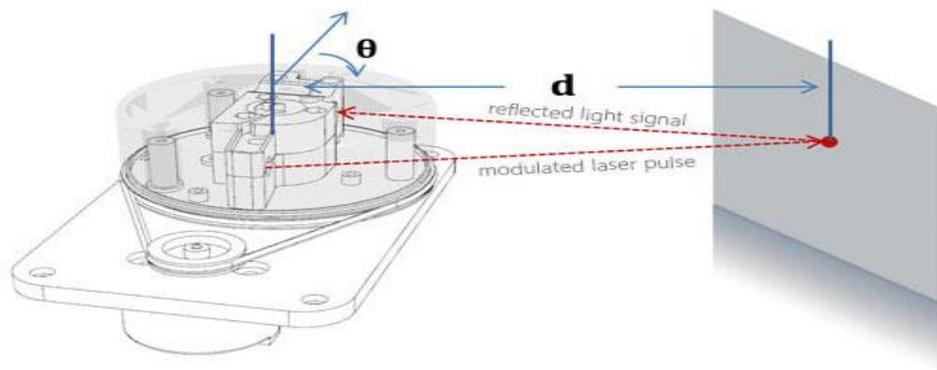
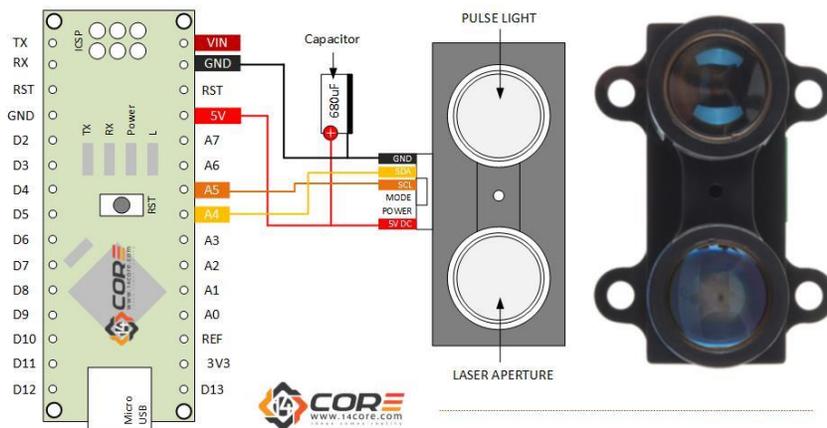


Figura 5. Funcionamiento LIDAR

Fuente: SLAMTEC, disponible en: <https://goo.gl/Agv9Uj>.



LIDAR-Lite v2, a compact high performance optical distance measurement sensor from PulsedLight.



This is the LIDAR-Lite v3, a compact, high-performance optical distance measurement sensor from Garmin

Figura 6. Medidor LIDAR Lite v3

Fuente: 14CORE, disponible en: <https://goo.gl/fSzQvb>.

Ultrasónico: son detectores de proximidad que trabajan libres de roces mecánicos y que detectan objetos a distancias que van desde pocos centímetros hasta varios metros con distancias de hasta 8 metros. El medidor emite un sonido y mide el tiempo que la señal tarda en regresar. Este medidor al no necesitar el contacto físico con el objeto ofrece la posibilidad de detectar objetos frágiles, como pintura fresca, además detecta cualquier material, independientemente del color, al mismo alcance, sin ajuste ni factor de corrección. Los medidores ultrasónicos tienen una función de aprendizaje para definir el campo de detección, con un alcance mínimo y máximo de precisión de 6 mm. El

inconveniente que enseñan estos dispositivos son las zonas ciegas y el problema de las falsas alarmas (su principio de funcionamiento se describe en la figura 8). La zona ciega es la zona comprendida entre el lado sensible del detector y el alcance mínimo en el que ningún objeto puede detectarse de forma fiable (Khoo, Kien, Shanmugavel, & Ragavan, 2016; Lopez Mateo, 2010; Nakajima, Shiomi, Yamashita, & Noda, 2017; Sanders, 2017).



Figura 7. Medidores ultrasónicos

Fuente: Techno Injection & Tools SA de CV, disponible en: <https://goo.gl/z7ddC1>.

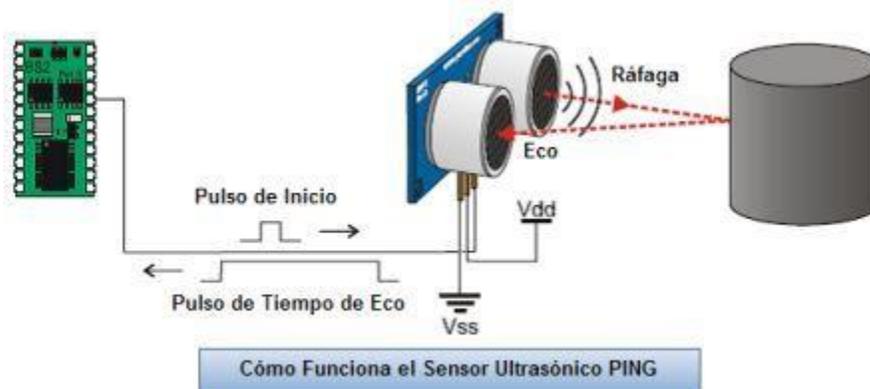


Figura 8. Funcionamiento medidor ultrasónico

Fuente: TecBolivia, disponible en: <https://goo.gl/oNu4RL>.

3.2.2.2 Acelerómetro y giroscopio

El acelerómetro es un instrumento utilizado para detectar vibraciones, inclinación y aceleración lineal. Es usado para la ejecución del podómetro, de nivelación, de alerta de la vibración, de antirrobo, entre otros (Electrónica Estudio, 2013; Gheorghe, 2017; H. P. Gupta, Chudgar, Mukherjee, Dutta, & Sharma, 2016; Jahanjoo, 2017). El giroscopio es usado para medir la velocidad angular y es utilizado principalmente en los mouses (ratones) 3D, en juegos y en entrenamientos de atletas profesionales (Gundavarapu et al., 2017; Jain & Kanhangad, 2016; Woods, Mcdonald-maier, & Alheeti, 2017).

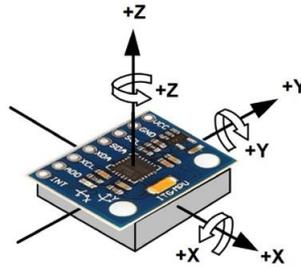


Figura 9. Módulo Acelerómetro y giroscopio

Fuente: Naylamp Mechatronics, disponible en: <https://goo.gl/h4Riwt>.

3.2.2.3 Medidores de temperatura y humedad

Se pueden usar esos dispositivos en casi todos los ambientes de IoT, desde el piso de la fábrica hasta los campos agrícolas. En las fábricas, estos medidores pueden medir continuamente la temperatura de una máquina para garantizar que permanezca dentro de un límite seguro. En las haciendas, pueden ser utilizados para rastrear la temperatura del suelo, agua y plantas para maximizar la producción (Bausà et al., 2014; Virreira, s/f).

El medidor de humedad, semejante al medidor de temperatura, se usa para controlar el desempeño de dispositivos, se define como analógico y digital. Un medidor de humedad

analógico marca la humedad relativa del aire utilizando un sistema capacitivo, que son los más utilizados. Este tipo de medidor es revestido generalmente de vidrio o cerámica. El material aislante que absorbe toda el agua, es hecho de un polímero que recibe y suelta el agua por medio de la humedad relativa de una determinada área. Eso modifica el nivel de carga presente en el capacitor de placa de circuito eléctrico. El digital funciona a través de dos microsensores que son calibrados con la humedad relativa de un área. Ellos son convertidos en un formato digital por un proceso de conversión analógico para digital, realizado por un chip localizado en el mismo circuito. Una máquina con un sistema de electrodos hechos de polímeros es lo que produce la capacidad del medidor, que protege al medidor del visor, que es la interface. Además, existen los medidores de humedad de suelo que son bastantes utilizados por productores agrícolas para medir las tasas de humedad antes, durante y después de la plantación y colecta (Bharathkumar, Irshad, Gowtham, & Geethamani, 2017; Laksono et al., 2016; Rusia et al., 2017).

Este proyecto utilizará el medidor DHT11, este medidor se caracteriza por tener la señal digital calibrada por lo que asegura una alta calidad y una fiabilidad a lo largo del tiempo, ya que contiene un microcontrolador de 8 bits integrado. Está constituido por dos medidores resistivos (Negative Temperature Coefficient (NTC) y humedad). Tiene una excelente calidad y una respuesta rápida en las medidas. Puede medir la humedad entre el rango 20% – aprox. 95% y la temperatura entre el rango 0°C – 50°C (D-robotics UK, 2010).



Figura 10. Medidor de humedad y temperature DHT11

Fuente: Didácticas Electrónicas, disponible en: <https://goo.gl/8wcMpb>.

Una de las ventajas de los medidores DHT, es que la comunicación es digital, es decir, la señal que suministran consiste en la transmisión de impulsos eléctricos que logran ser leídos por medio de una entrada digital en un microcontrolador en vez de una entrada analógica como se puede apreciar en la figura 11.

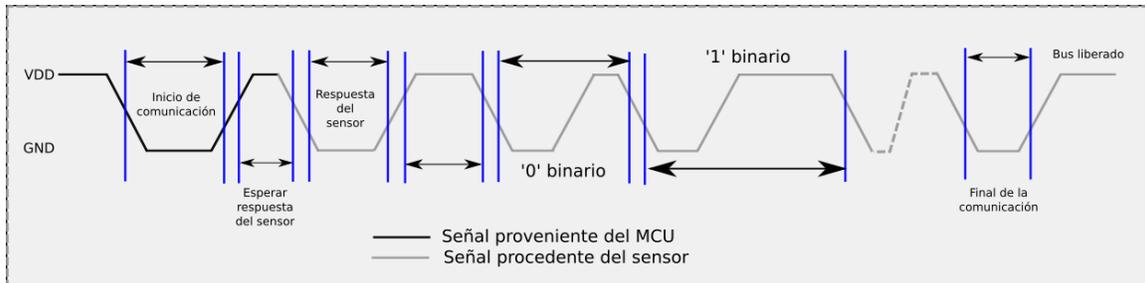


Figura 11. Diagrama de datos para el medidor DHT11

Fuente: Panamahitek, disponible en: <https://goo.gl/vogNGM>.

3.2.2.4 Medidor de presión atmosférica y altura

La presión atmosférica es la fuerza por unidad de superficie que ejerce el aire sobre la superficie terrestre; en un punto coincide numéricamente con el peso de una columna estática de aire de sección recta unitaria que se extiende desde ese punto hasta el límite superior de la atmósfera, como la densidad del aire disminuye conforme se eleva, no es posible calcular ese peso a menos que se exprese la variación de la densidad del aire ρ en función de la altitud z o de la presión p . Por ello, no resulta fácil hacer un cálculo exacto de la presión atmosférica sobre un lugar de la superficie terrestre. Asimismo, tanto la temperatura como la presión del aire se están modificando continuamente, en una escala temporal como espacial, dificultando el cálculo, en otras palabras, la presión atmosférica se da por la columna de aire que existe sobre las personas, la misma está en función de la altura y relacionada con las condiciones meteorológicas de determinado lugar en determinado momento (Husak & Jakovenko, 2010; Torricelli, s/f; Zaliva & Franchetti, 2014). En este proyecto se utilizará el módulo LPS331AP es un medidor de presión y

altura para medir presiones barométricas desde 260 mbar a 1260 mbar (26 kPa a 126 kPa) con una precisión absoluta hasta ± 2 mbar (0,2 kPa) y el ruido RMS típico de 0,02 mbar (0.002 kPa) en el modo de alta resolución (Matey, 2016). Estas presiones pueden ser fácilmente convertidas a altitudes. La board tiene un regulador de 3,3 V y un interruptor que permiten trabajar en un rango de voltaje de entrada de 2,5 V a 5,5 V, tiene un espacio de 0,1 " entre pines hace que sea fácil de usar con placas universales sin soldadura. El medidor ofrece las interfaces Inter-integrated Circuit (I2C) y Serial Peripheral Interface (SPI).



Figura 12. Medidor de presión y altitud LPS331AP

Fuente: Boxelectronica, disponible en: <https://goo.gl/a8KfBo>.

3.2.2.5 Sistema de posicionamiento global (GPS)

Los Global Positioning System (GPS) son sistemas que permiten determinar la posición de un objeto (persona, vehículo, smartphone, entre otros) con una exactitud de centímetros (al utilizar GPS diferencial), sin embargo, lo usual son unos metros de precisión. El sistema fue desarrollado, instalado y empleado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, para determinar las posiciones en el globo, el sistema GPS se vale de 24 satélites en órbita sobre el planeta tierra y utiliza la trilateración con trayectorias sincronizadas para cubrir su superficie.

Cómo funciona el sistema de posicionamiento global

El sistema realiza una cuadrangulación respecto de la posición de cuatro satélites y calcula la ubicación del usuario.

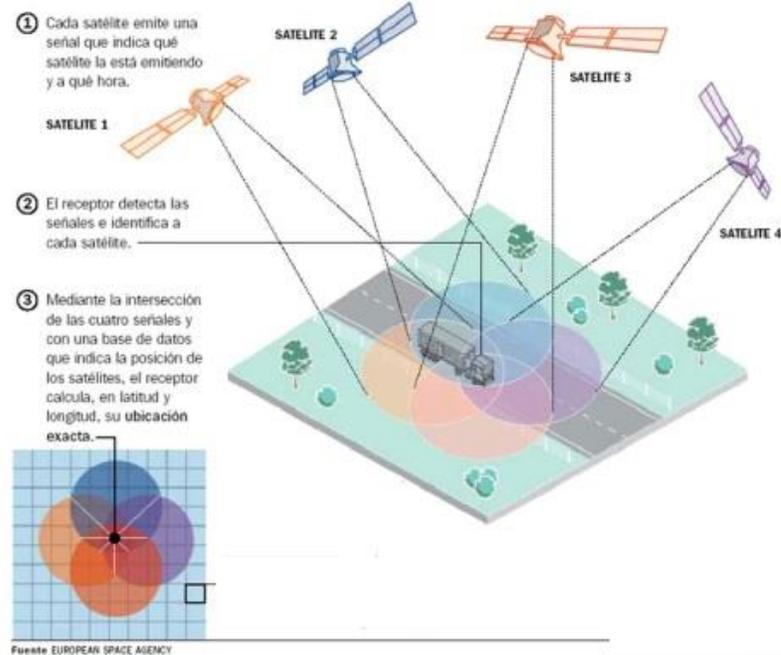


Figura 13. Funcionamiento del GPS

Fuente: Ingeniería y Sociedad, disponible en: <https://goo.gl/a8KfBo>.

Cuando se desea determinar la posición, el receptor utilizado para ello localiza tres satélites de la red, de los que recibe una señales indicando la identificación y la hora del reloj de cada uno de ellos; con base a estas señales, se sincroniza el reloj del GPS y computa el tiempo que tardan en llegar las señales al equipo, de tal modo mide la distancia al satélite mediante el método de trilateración inversa, este se basa en establecer la distancia de cada satélite al punto de comprobación, al conocer las distancias, se determina posición relativa respecto a los satélites con los datos de coordenadas o posición de cada uno de ellos a través de la señal que emiten, se obtiene la posición absoluta o coordenadas reales del punto de medición. También se obtiene una exactitud extrema en el reloj del GPS, equivalente a la de los relojes atómicos que lleva a bordo cada uno de los satélites (Casanova, s/f; Letham, 2001).

El sistema GPS es bien utilizado en agricultura, tierra, mar, mapas, ciencias, aviación, uso militar, entre otros; por ejemplo, el sistema puede brindar información geográfica para determinar las condiciones del suelo, humedad, temperatura, asimismo, determinar la posición usando sistemas de navegación a bordo, se utiliza para mejorar la precisión de cartas marítimas, guiar sistemas de auto-piloto, marcar objetos sumergidos o conocer la posición exacta de naves en alta mar, también para construcción de mapas y cartas, en aviación el sistema hace posible la determinación tridimensional de la posición desde el despegue hasta el aterrizaje, sincroniza la información sobre condiciones atmosféricas peligrosas, entre otros usos (Al-radaideh & Sun, 2017; Fallas, 2002; Hsu, Gu, & Kamijo, 2017; Patel, Stocks, Fisher, Nicolls, & Boje, 2017).

Este proyecto, utilizará el módulo receptor UART GPS NEO-7M-C (B) ideal para vehículos autónomos como aerodelismo, quadcopters, helicópteros, robots móviles, así como para realizar control de vuelo o control de recorridos, es de nivel TTL compatible con sistemas de 3.3V y de 5V, tiene una antena activa de alta ganancia, con interface IPX para conectar diferentes tipos de antenas activas, tiene batería de respaldo.

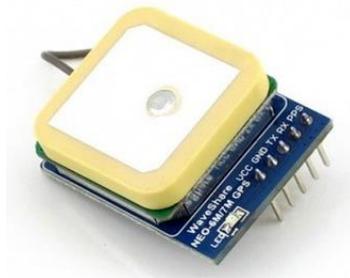


Figura 14. Módulo UART GPS NEO-7M-C (B)

Fuente: Didácticas Electrónicas, disponible en: <https://goo.gl/iXT6zL>.

3.2.2.6 Medidor de radiación UV

Medidor que puede detectar la incidencia de la radiación ultravioleta (UV), Esta forma de radiación electromagnética tiene longitudes de onda más cortas que la radiación visible y son esas longitudes cortas las que detecta este medidor. El medidor UV a utilizar es el Grove UV: referencia 101020043, es un instrumento de precisión que detecta longitudes de onda de 240 y 370nm (Seeed Studio, s/f), que según la Organización Mundial de la Salud (OMS) (Organización Mundial de la Salud, 2003), es la porción del espectro UV que produce quemaduras en la piel.



Figura 15. Grove Sensor UV

Fuente: Didácticas Electrónicas, disponible en: <https://goo.gl/HH8LFC>.

3.2.2.7 Dosímetros

Un dosímetro es un instrumento de medición de dosis absorbida (como dosis equivalente) en un contexto de protección radiológica (Hwang, Kwak, Kwon, & Choi, 2016; Nanto et al., 2017; Siebel, Saraiva, Ramirez-Fernandez, Schneider, & Galup-Montoro, 2016). Se describen a continuación algunos de los dosímetros actualmente utilizados en dosimetría personal y de área.

3.2.2.7.1 Dosimetría personal

Calcula las dosis recibidas por una persona determinada. Dependiendo de la zona del cuerpo que desee estimar (Chil et al., 2017; Yasuda & Fujitaka, 2001), dosimetría personal se clasifica en :

- Dosimetría de todo el organismo: Se implementa por un dosímetro de solapa, que debe ser colocado en una posición que sea representativa de la parte más expuesta de la superficie del cuerpo.
- Dosimetría de las extremidades superiores: Se lleva a cabo mediante el uso de la muñeca o anillo. Se recomienda sólo en aquellos casos en los que las dosis a las manos pueden ser notablemente más altos que los de todo el organismo, debido a su proximidad con el haz de radiación.
- Dosimetría abdomen: Se implementa mediante dosímetros de solapa. Sólo se utiliza en el abdomen de las mujeres embarazadas expuestas.

Clínicamente existen una serie de definiciones dosimétricas importantes para efectos de medición, tales como (Mettler, Huda, Yoshizumi, & Mahesh, 2008; Moscucci, s/f; Topol & Teirstein, 2016):

- Dosis absorbida, también llamada dosis material o dosis exposición. Es la energía de radiación ionizante absorbida por unidad de masa de materia irradiada en un punto específico. Su unidad de medida es el Gray (Gy).
- Dosis equivalente: tipos de radiación, tales como rayos X, protones, neutrones y partículas alfa causan diversos grados de daño biológico por unidad de dosis absorbida, se utiliza un factor de ponderación basado en el tipo de radiación

utilizada. Por definición, el factor de ponderación de los rayos X es la unidad de medida es el sievert (Sv).

- Dosis efectiva (E): su valor se obtiene al multiplicar la dosis absorbida por un valor de ponderación previamente definido para cada tejido expuesto. Se expresa en milisieverts (mSv) y es útil para comparar la cantidad de radiación recibida por diferentes tipos de procedimientos.
- Dosis de radiación a la entrada de la piel (Entrance Skin Dose, ESD): Este valor ordinariamente no se puede anunciar con exactitud, pero se puede evaluar si se conoce el aire KERMA de entrada (EAK), es el Kerma energía liberada por el haz de rayos X por unidad de masa de un material específico en un pequeño volumen irradiado de materia. La unidad de medida es el gray, un Gy equivale a un joule (J) en un pequeño volumen irradiado de aire. Se reporta en miligray a nivel de la piel.
- Dosis pico en la piel (Peak Skin Dose, PSD): es la máxima ESD en la zona de la piel más fuertemente irradiada.
- Dosis umbral: es la mínima dosis que puede mostrar reacciones tisulares. Varía entre los individuos y los tipos de tejido.

El daño que causa la radiación en los órganos y tejidos depende de la dosis recibida, o dosis absorbida, que se expresa en una unidad llamada gray (Gy) mide la energía absorbida por un material, para efectos biológicos se utiliza el Sievert una unidad derivada del Sistema Internacional de Unidades (SI) y es una medida del efecto sobre la salud de los bajos niveles de radiación ionizante en el cuerpo humano. El sievert es de importancia en dosimetría y protección radiológica, y lleva el nombre de Rolf Maximilian Sievert (Sekiya & Yamasaki, 2016), un físico médico sueco reconocido por su trabajo en la medición de la dosis de radiación y la investigación de los efectos biológicos de la radiación. El daño que puede producir una dosis absorbida depende del tipo de radiación y de la sensibilidad de los diferentes órganos y tejidos. Para medir la radiación ionizante en términos de su

potencial para causar daños se utiliza la dosis efectiva. Es una manera de medir la radiación ionizante en términos de su potencial para causar daño. La forma más práctica de proteger a las personas es con la medición continua del nivel de radiación acumulada en sus cuerpos, tal como se realiza en zonas controladas.

En este sentido, para realizar la medición de radiación ionizante los dosímetros más comunes son:

- **Dosímetro Thermo-luminiscente (TLD):** Estos detectores son generalmente hechos de fluoruro de litio activado con magnesio o fluoruro de calcio activado, a su vez, con el manganeso. Los detectores de almacenar la energía recibida de las radiaciones ionizantes. Con el fin de conocer la cantidad de radiación recibida por el dosímetro, es necesario calentarlo a una temperatura de 300° C, liberando así la energía almacenada en forma de luz. Las principales ventajas son su bajo costo, facilidad de manejo, sensibilidad, y que no depende solamente de las condiciones ambientales. Además, es reutilizable: Una vez que el dosímetro recibe la dosis de radiación durante un período de tiempo, se puede emplear de nuevo. Sin embargo, su principal inconveniente está relacionado con que la radiación no se puede observar en tiempo real, lo que repercute negativamente sobre su aplicabilidad (Massillon-JL, Cueva-Prócel, Díaz-Aguirre, Rodríguez-Ponce, & Herrera-Martínez, 2013).
- **Dosímetro OSL (Optically Stimulated Luminescence):** Estos dosímetros incorporan una lámina de óxido de aluminio de carbono activado, que se encuentra entre los filtros, para obtener información cualitativa sobre las condiciones durante la exposición. Para conocer la cantidad de dosis de radiación recibida, el óxido de aluminio es estimulada en frecuencias

específicas por medio de un láser. De esta manera, la intensidad de la luz emitida será proporcional a la dosis de radiación recibida. Al igual que en casos anteriores, su principal ventaja es su capacidad de reutilización. Puede ser reutilizado un escaso número de veces sin perder sensibilidad. Por otro lado, los dispositivos comerciales carecen de conectividad remota y el almacenamiento de datos (Jahn, Sommer, Ullrich, Wickert, & Henniger, 2013).

- **Dosímetro de película (Film Dosimeter):** Contiene un pequeño trozo de la película radiográfica, colocada entre dos filtros de metal (por lo general de aluminio o de cobre) dentro de una carcasa de plástico, con el fin de proteger la película de exposición a la luz. Algunos dosímetros de película tienen dos emulsiones, uno para dosis bajas y la otra para mediciones de dosis altas. La principal ventaja es su funcionalidad. Film puede proporcionar información sobre las condiciones de exposición, tales como la dirección de la radiación incidente o sospecha de contaminación. El principal inconveniente es que la lectura se estima, no es inmediato, y no reutilizable. También depende de las condiciones externas, tales como la humedad (Gafar & El-Ahdal, 2015).
- **Dosímetro de vidrio radiofotoluminiscente (RPLGD):** Se compone de una carcasa que incorpora un vidrio radiophotoluminescent (RPL) en el centro. El material de cristal RPL se activa de plata con vidrio de fosfato cristalizado (P_2O_5). Cuando este material se expone a la radiación, centros luminiscentes estables se crean en los iones de plata, denotadas como Ag° y Ag^{2+} . Estos iones emiten luz cuando son estimulados. Para producir esta estimulación, el cristal se irradia con luz ultravioleta, la medición de la luz emitida con un tubo fotomultiplicador. Por lo tanto, la intensidad de la luz emitida será proporcional a la dosis de radiación recibida. La principal ventaja es su reutilización. En el procedimiento de lectura, la dosis

almacenada no se elimina. Por lo tanto, permite acumular la dosis de radiación en el muy largo plazo. Además, no es sensible a la temperatura ambiente, lo que favorece la precisión de la medición. El principal inconveniente es que no mide los datos en tiempo real y no exporta datos (Miyamoto et al., 2014).

- **Dosímetro personal electrónico:** Utiliza sensores electrónicos y de procesamiento de señales, y muestra la dosis de radiación recibida normalmente en microSievert (μSv). Este dosímetro o bien tiene un tubo Geiger-Müller en miniatura o está equipado con sensores de silicón. La principal ventaja es que se puede visualizar continuamente la dosis acumulada en la pantalla, por lo que se utiliza a menudo como una alternativa en casos de emergencia en las que es necesario conocer una cantidad específica de radiación dentro de un corto período de tiempo. Además, se puede incorporar alarmas si se excede una dosis de radiación acumulada previamente programado durante un cierto período de tiempo. El principal inconvenientes son el costo y la falta de conectividad (Scragg et al., 2017).
- **Dosímetro Pluma de bolsillo (Pen/pocket):** Tiene la forma de un bolígrafo y contiene una cámara de ionización con un electrodo de fibra de cuarzo que funciona como un electroscopio. La principal ventaja de este equipo es que la lectura de este dosímetro es sencillo y muy fácil de usar. El principal inconveniente es el hecho de que tiene pobre lectura de gama y baja sensibilidad en comparación con otros sistemas. Se requiere una vigilancia diaria de radiación y de carga para su uso (Hernawan, Nugraha, Sutanto, & Hiswara, 2016).

3.2.2.7.2 Dosimetría de Área

Son dispositivos que calculan la dosis recibida en un lugar determinado. Se listan a continuación algunos de los principales tipos de dosímetros de área usados, al respecto, se pueden dividir en dos grupos principales: detectores de gas y de estado sólido (Tsoulfanidis & Landsberger, 2015).

Los detectores de estado sólido: El detector de estado sólido, también conocido como Detector de radiación semiconductor, es un detector de radiación en el que un medio semiconductor (silicio o germanio) constituye el medio de detección. Se describen a continuación:

- **Contadores de centelleador (Scintillator counters):** Es un instrumento para detectar y medir la radiación ionizante utilizando el efecto de excitación de la radiación incidente en un material centelleante y detectando los pulsos de luz resultantes. Consiste en un escintilador que genera fotones en respuesta a la radiación incidente, un fotodetector sensible (generalmente un tubo fotomultiplicador o photomultiplier tube (PMT), una cámara de dispositivo de carga acoplada - Charge-Coupled Device (CCD) o un fotodiodo), que convierte la luz en una señal eléctrica y Electrónica para procesar esta señal (Bashkirov et al., 2016; Birks, 1964).
- **Detectores semiconductores:** Materiales sólidos semiconductores (de germanio y de silicio) son alternativas a los centelleadores, para la construcción de detectores de radiación. En el campo de la física de partículas, estos detectores se conocen generalmente como detectores de silicio. Cuando sus estructuras sensibles se basan en un solo diodo, se denominan detectores de diodo semiconductor. Cuando contienen muchos diodos con diferentes funciones, se utiliza el término más general detector de semiconductor. Los

detectores semiconductores han encontrado una amplia aplicación durante las últimas décadas, en particular para la espectrometría gamma y de rayos X y como detectores de partículas. Las principales ventajas son que el tiempo requerido para recoger la carga de grandes detectores está en el intervalo de 10-100 ns, dependiendo de la forma del detector (plana o coaxiales) y el punto de entrada de la radiación con respecto a los electrodos. Este tiempo es menor que la obtenida en una cámara de ionización, ya que aquí el camino seguido por las cargas creadas se reduce en varios órdenes de magnitud. Un inconveniente es la falta de conectividad en los dispositivos

Los detectores de gas: Se basan en la recopilación directa del fenómeno de ionización causada por una partícula cuando pasa a través de un gas noble, encerrado entre dos electrodos sometidos a una diferencia de potencial. Este tipo de gas se utiliza debido a que la tasa de dosis que se puede supervisar debe ser tan alta como sea posible. Los principales detectores son: cámaras de ionización, contadores proporcionales y los contadores de Geiger-Müller (Chernyshova et al., 2014).

- **Cámara de Ionización:** El detector más sencillo de este tipo es la cámara de ionización. Normalmente se usa la cámara de ionización como monitor de radiación. La intensidad de la radiación se recoge como una corriente que representa la interacción de muchas radiaciones durante el tiempo de respuesta de la cámara. La corriente de salida es proporcional tanto a la actividad de la fuente y a la energía de las radiaciones (radiaciones de mayor energía dan una mayor ionización y, por tanto, una mayor respuesta). (Farace, Righetto, & Meijers, 2016; Looe et al., 2013).
- **Contador Proporcional:** Es un tipo de dispositivo detector de ionización gaseosa utilizado para medir partículas de radiación ionizante. La característica

clave es su capacidad para medir la energía de la radiación incidente, produciendo un pulso de salida del detector que es proporcional a la energía de radiación absorbida por el detector debido a un evento ionizante; De ahí el nombre del detector. Es ampliamente utilizado donde deben ser conocidos los niveles de energía de la radiación incidente, tal como en la discriminación entre alfa y partículas beta, o una medición precisa de rayos X de radiación dosis. Un contador proporcional utiliza una combinación de los mecanismos como el tubo Geiger-Müller y una cámara de ionización, y opera en una región de voltaje intermedio entre estos. (Agrawal et al., 2017; Antia et al., 2017).

- **Contador Geiger-Müller:** Es un instrumento que permite medir la radiactividad de un objeto o lugar, pueden detectar partículas y radiaciones ionizantes. Está constituido por un tubo con un fino hilo metálico a lo largo de su centro. El espacio entre ellos está aislado y relleno de un gas, y con el hilo a unos 1000 voltios con respecto al tubo; cuando un ion o un electrón penetran en el tubo (o bien se libera un electrón de su pared por efecto de los rayos X o gamma), se desprenden electrones de los átomos del gas que rellena el tubo. Debido al voltaje positivo del hilo central, son atraídos hacia él, y al hacer esto ganan energía, colisionan con los átomos del gas y liberan más electrones, hasta que el proceso se convierte en una avalancha que produce un pulso de corriente detectable. Se le llama "contador" debido a que cada partícula que pasa por él produce un pulso idéntico, permitiendo contar las partículas, pero sin proporcionar datos acerca del tipo de radiación o sobre su energía (Grupo de Física Nuclear., s/f).

En este proyecto se utilizará el modelo: NGMC-V1, este Detector de Radiación Nuclear DIY Kit. kit Arduino compatible. puede conducir tubos Geiger Müller (GM) en el Printed Circuit Board (PCB) de referencia: M4011, STS-5, SBM20 o J305, tiene tensión compatibilidad con todos los populares Tubos GM que

requiere ánodo voltaje (v) 350-500v; el kit tiene indicación visual y sonora de la radiación y puede ser utilizado como detector de peligrosos niveles de radiación o materiales radiactivos en su entorno. Tiene 3 pines para comunicación con Multipoint Control Unit (MCU): INT, GND, 5v. Se puede encender el kit de 5v a la placa Arduino directamente o utilizando baterías tiene que conectar sólo 2 pines de Arduino: Controlador de interrupción (INT) y controlador de tierra – Ground (GND). Existen diferentes aplicaciones para utilizar este kit, especialmente para desarrollo de software.



Figura 16. Contador Geiger Müller modelo NGMC-V1

Fuente: TOISAD, disponible en: <https://goo.gl/Eq3H5M>.

El medidor o contador Geiger-Müller permite la obtención de las dosis de radiación precisas con un costo notablemente bajo, y su integración en cualquier sistema electrónico para gestionar la información y el envío a lugares remotos es un proceso sencillo. Estas son las principales razones por las que el contador Geiger-Müller se ha adoptado como parte de este trabajo.

En este sentido, este trabajo presenta el desarrollo de un dispositivo de medición de radiación ionizante que resuelve la mayoría de inconvenientes de conectividad, información en tiempo real, información histórica, costos, entre otros que se presentan con la mayoría de tecnologías disponibles, lo que constituye una innovación al respecto. A continuación, se describen las tecnologías requeridas para el proceso de diseño y ensamble de este dispositivo.

3.3 Internet de las Cosas

Según Greengard (2015, p. 19). El internet de las cosas es propuesto en el año de 1999 por Kevin Ashton y tiene como finalidad el intercambio de información. El origen del término deriva de la computación ubicua, el cual fue atribuido a Mark Weiser (1991), siendo uno de los principales investigadores que contribuyeron al desarrollo de esta área, cuando trabajaba en Olivetti Research Ltd. y Xerox PARC Laboratory, con el propósito de aumentar el uso de las computadoras haciéndolas disponibles en todo ambiente físico, pero haciéndolas eficazmente invisibles al usuario. También es llamada Pervasive Computing (G. Chen & Kotz, 2000); Según la revista Gartner, 50 mil millones de dispositivos estarán conectados en 2020 (Alonso Arévalo, 2016). La Computación Ubicua se caracteriza por pequeños computadores que se comunican de forma espontánea, que por su pequeño tamaño se integran en casi todos los objetos cotidianos (Kortuem, Kawsar, Sundramoorthy, & Fitton, 2010). La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) sugiere el término Internet de las Cosas (IoT) en un informe en 2005 (Weber & Weber, 2010). IoT es la visión donde los objetos pasan a ser parte de la Internet; todos los objetos se identifican de forma única, y pueden acceder a la red, su posición y estado conocido, en la que los servicios de inteligencia se agregan a esta ampliación Internet y la fusión del mundo digital y físico, en última instancia que influyen en el entorno social (Coetzee, L., & Eksteen, 2011)b. Este tipo de servicios a través de dispositivos inteligentes soportados en un robot conectado a

Internet permiten procesar información en tiempo real proporcionando para este proyecto la tecnología que permitirá la comunicación para detección de radiación ionizante.

Si bien IoT es un término que tiene más de 15 años, ha llegado a cubrir una gran diversidad de sectores de la civilización, que incluyen la automatización hogareña, los dispositivos personales (wearables), automóviles, industrias e incluso ciudades inteligentes (ver figura 17). Todas las definiciones y casos de uso coinciden en una cosa: muchos dispositivos conectados a Internet, con un número que permite identificar cada objeto conectado y todo respaldado por una enorme capacidad de procesamiento y almacenamiento de información, ubicada en la “nube” (IoT Cloud). Según la Internet Society (2017), las proyecciones del impacto de la IoT y la economía son impresionantes, algunos autores anticipan que en el año 2025 habrá hasta cien mil millones de dispositivos conectados a la IoT y que su impacto será de US\$11.000.000.000.000. La IoT es un tema valioso en la industria de la tecnología, las políticas y los círculos de ingeniería, esta tecnología emergente se personifica en una amplia serie de productos, sistemas y medidores en red, que aprovechan los avances en la potencia de cálculo, la miniaturización de los componentes electrónicos y las interconexiones de red para ofrecer nuevas capacidades que anteriormente no eran posibles.

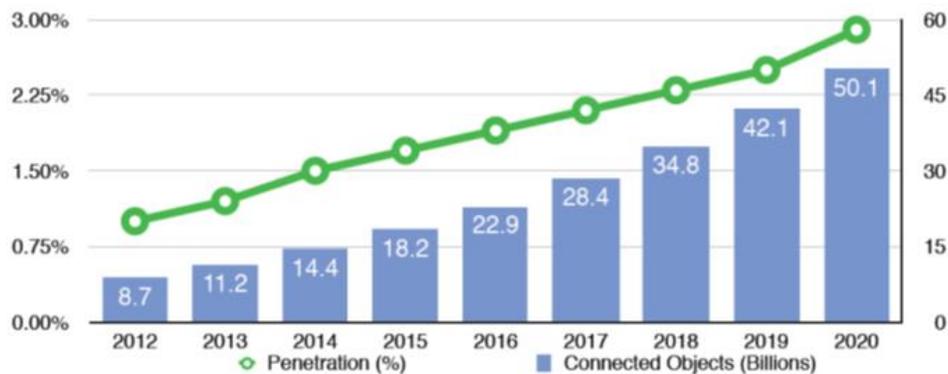


Figura 17. Proyección de IoT por CISCO

Fuente: IoT projection por Cisco, enero 2014. Disponible en: <http://aberdeeninvestment.com/2014/02/>

Diversas plataformas públicas, privadas e incluso híbridas ofrecen servicios a las necesidades técnicas en IoT de forma eficiente; tres bloques de servicios principales son ofertados en la nube, tales como: infraestructura como servicio (IaaS) proporciona computadoras físicas o virtuales entre otros servicios a los centros de datos, plataforma como servicio (PaaS) regularmente incluye la base de datos, software de sistema como el sistema operativo, lenguaje de ejecución integrado y servicios basados en servidor Web; y el software como servicio (SaaS) a veces es intermediado como el software de la demanda (ODS); empresas como Amazon, Microsoft, Google, HP, IBM entre otros ofrecen servicios de tipo público, privado o híbrido conocidos como: Amazon Web Services (AWS), Microsoft Azure, Google Cloud Platform (GCP), Salesforce.com, HP cloud, IBM smart cloud, Microsoft Azure Infrastructure Services (WAIS), Oracle Cloud Computing que proveen oportunidades de trabajo en plataformas públicas, privadas o híbridas (Tobergte & Curtis, 2013). Generalmente, estas plataformas de servicio de la Internet de las cosas basado en la nube (IoT Cloud) proporcionan colección en tiempo real de datos en bruto y el almacenamiento, la interacción gráfica, el apoyo de análisis estadístico, medidas de reacción, las actividades de activación, los mensajes de estado del dispositivo, entre otros. Estas plataformas son lo suficientemente sofisticados como para incorporar diferentes protocolos de comunicación de red, tales como Wi-Fi, ZigBee, Wireless Local Area Network (WLAN), Bluetooth (BT), Bluetooth Low Energy (BTLE), Radio Frecuencia (RF), IP versión 6 baja potencia red de área personal (6LoWPAN) junto con otras no convencionales. interfaz de programación de aplicaciones (Open API) y complementos (plug-ins) fortalecen su arquitectura acumulativa para actuar con los dispositivos que están conectados.

El internet de las cosas aún cuenta con grandes desafíos que están intrínsecos en sus tres capas: Hardware, Infraestructura, aplicaciones y servicios (Tarkoma & Ailisto, 2013; Zhu, Wang, Chen, Liu, & Qin, 2010). Lo servidores en la nube, conocidos también como centros de datos son el principal aliado de la computación en la IoT. La nube

proporciona almacenamiento compartido, información, y la potencia de cálculo. Para aplicaciones típicas de la IoT, la nube recibe información de los medidores a través de enrutadores y puertas de enlace, y llevar a cabo extensos análisis para extraer información.

- ✓ Primer nivel Hardware: Este permite la interconexión de los objetos físicos mediante medidores y tecnologías afines. Los desafíos asociados a esta capa están relacionados con miniaturización, que, aunque en la actualidad se cuentan con dispositivos con capacidad de procesamiento, almacenamiento y de conectividad, sus componentes internos deben ser más pequeños y más eficientes. La capacidad de procesamiento se espera que sea más rápida que la actual, haciendo uso de la computación cuántica.
- ✓ Segundo nivel: Infraestructura corresponde a la capacidad de conectividad para acceso a internet, que en la actualidad se cuenta con redes de 3G y 4G. El gran desafío es conectar billones de dispositivos a la red, para lo cual se requiere la ampliación de los anchos de banda y del espectro electromagnético que es el combustible de las redes inalámbricas. Tal y como está la infraestructura de telecomunicaciones en la actualidad, no alcanzarían a soportar la inclusión de la gran cantidad de dispositivos electrónicos, por lo tanto, es un reto que hay que resolver pronto.
- ✓ Tercer nivel: Aplicaciones y servicios, se dice que es la capa en donde se encuentran la oportunidad para ofrecer un sin número de soluciones que permitan, suministrar y proveer información desde los objetos físicos a los virtuales y a su vez la interacción de las personas, haciéndole la vida más fácil.
- ✓ Desde el nivel de servicios y aplicaciones, hay una gran cantidad de trabajos que se han desarrollado y se siguen planteando nuevas soluciones para permitir la interacción de las personas con el internet de objetos y servicios asociados.

Toda esta tecnología proporciona una elevada potencialidad para originar procesos, productos o servicios que cambian las concepciones establecidas (Al Saeed, 2011). IoT es un concepto que demanda de todo tipo de iniciativas para la interacción Machine to Machine (M2M), logrando una comunicación interactiva que permita a los usuarios conocer en tiempo real del estado de un objeto y poder si es posible modificarlo. El aumento de IoT implica (ver figura 18) estar en una nueva era de datos que muestran su capacidad de capturar información a través de medidores y su capacidad de transmitirla vía Internet.

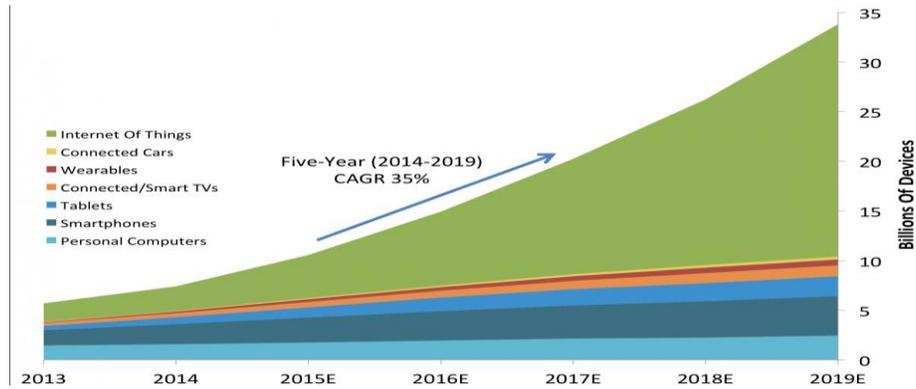


Figura 18. Número de dispositivos en IoT

Fuente: The Government Office for Science, 2014.

Este tipo de tecnologías de alto nivel promete abrir la puerta a un mundo un mundo “inteligente” totalmente interconectado en el cual las relaciones entre los objetos y su entorno y las personas se entrelazarán aún más, un mundo donde se pueden comunicar computadoras, medidores y redes como una matriz omnipresente de dispositivos que se pueden monitorear y controlar; esto implica un complejo conjunto de consideraciones tecnológicas, sociales y políticas en constante evolución que incorpora a una amplia comunidad industrial, académica y estatal interesada, que debe hacer frente a sus desafíos, maximizar sus beneficios y simultáneamente reducir sus riesgos. La búsqueda de una arquitectura IoT que soporte los diferentes entornos y contextos del mundo de las cosas es

un reto que ha existido desde la misma aparición del concepto de la IoT. Han existido una serie de arquitecturas propuestas en contextos como: aeroespacial, aviación, telecomunicaciones, edificios inteligentes, salud, tecnología médica, farmacéutica, industrias de procesamiento, manufactura, seguridad, monitoreo ambiental, transporte de personas y mercancías, trazabilidad de alimentos, agricultura, cría de animales, entre otros (Zaslavsky, Perera, & Georgakopoulos, 2012), en este sentido IoT permite seleccionar una propuesta en este proyecto que coadyuve en el logro de los objetivos del mismo, su concepto ha madurado en aplicaciones para determinadas áreas, diversas con soluciones propietarias, pero, los avances tecnológicos están llevando a determinadas líneas de investigación a una convergencia de varios proyectos de investigación auspiciados por organizaciones privadas y estatales (Sanchez et al., 2011).

3.3.1 Computación en la nube (Cloud Computing)

Es un término general para denominar cualquier cosa que tenga que ver con la provisión de servicios de hospedaje a través de Internet. Estos servicios se dividen en tres grandes categorías: Infraestructura como servicio (IaaS), plataforma como servicio (PaaS) y software como servicio (SaaS). El nombre de computación en la nube fue inspirado por el símbolo de nube que se utiliza a menudo para representar a Internet en imágenes y diagramas de flujos. Cloud Computing ha surgido con éxito para servir a los servicios de Tecnologías de la Información (TI) en internet (Dores, Reis, & Lopes, 2014).

De acuerdo con la estimación, alrededor de 50 mil millones de dispositivos estarán interconectados a través de redes en el año 2020 (Terry, 2014). Todos estos dispositivos se adaptan a los servicios de internet, incluyendo dispositivos pequeños como los medidores o sensores, estas entidades que tienen menor almacenamiento, hardware computacional y capacidades de comunicación se utilizan en la IoT como las cosas que se pueden recoger

datos mediante la interacción con los entornos dinámicos vecinos, alrededor de 2,5 trillones de bytes de datos se generan cada día por las cosas interconectadas ya sea en forma no estructurada o en forma semi-estructurada. Las entidades informáticas que intervienen en la IoT son tan pequeñas que son incapaces de manejar estos datos. Aquí viene el uso de la computación en la nube que proporciona un enfoque más avanzado para manejar estos datos.

3.4 Ordenador de placa reducida

Un ordenador de placa reducida, placa computadora o Single Board Computer (SBC), es una computadora completa en un sólo circuito. El diseño se centra en un sólo microprocesador con la RAM, E/S y todas las demás características de un computador funcional en una sola tarjeta que suele ser de tamaño reducido, y que tiene todo lo que necesita en la placa base, esta tecnología permite la viabilidad de utilizar los medidores antes mencionados sin tener un conocimiento técnico profundo de los sistemas embebidos (Pallero, Martínez Cuevas, & García Blanco, 2013). Este proyecto propone el uso de un dispositivo IoT dirigido a la recolección de datos del mundo real en variables tales como: temperatura, humedad, presión atmosférica, radiación UV y Geiger, se destaca su utilización al tratarse de dispositivos de bajo coste que tienen un rico conjunto de características y ofrecen una potente capacidad de cálculo (Johnston, Apetroaie-Cristea, Scott, & Cox, 2017).

El apogeo de los smartphones en los últimos años ha producido un avance en la tecnología de los procesadores de bajo consumo como los Advanced RISC Machine (ARM) y en la miniaturización del sistema completo, llegando a los System On a Chip (SoC), por lo que actualmente muchas de las computadoras de placa única son adecuados para los dispositivos IoT, Aprovechando la variedad de recursos disponibles de esta

tecnología se han seleccionado las que pueden ser apropiadas para el proyecto, por su precio, tamaño y características: Raspberry Pi 3 y de Particle.io: Photon y Electron.

3.4.1 Raspberry Pi 3

Raspberry Pi es un computador de placa reducida (SBC) de bajo costo desarrollado en Reino Unido por la Fundación Raspberry Pi, con el objetivo de estimular la enseñanza de ciencias de la computación, es un producto con propiedad registrada, pero de uso libre. De esa forma la fundación mantiene el control de la plataforma, pero consintiendo su uso libre tanto a nivel educativo como particular. El software es open source, siendo su sistema operativo oficial una versión adaptada de Debian, denominada Raspbian, no obstante, es posible usar otros sistemas operativos, incluido una versión de Windows 10 y posibilidad de programación en Python, Ruby, C, Node.js, Visual Basic, entre otros. En todas sus versiones incluye un procesador Broadcom, una Random Access Memory (RAM), una Graphics Processing Unit (GPU), puertos Universal Serial Bus (USB), High-Definition Multimedia Interface (HDMI), Ethernet (El primer modelo no lo tenía), 40 pines General Purpose Input/Output (GPIO) y un conector para cámara. Ninguna de sus ediciones incluye memoria, siendo esta en su primera versión una tarjeta de memoria Secure Digital (SD) y en ediciones posteriores una tarjeta de memoria flash más pequeña (MicroSD) (Dennis, 2016; Grimmer, 2014; Shovic, 2016). Según Eben Upton (2015), creador de las Raspberry Pi, *"La ventaja de las Pi en IoT es que somos una plataforma neutral. No tenemos una pila software de IoT propia para vender, pero la mayoría de las pilas software propuestas en la actualidad corren bien en las Pi"*, afirma que más o menos la tercera parte de las Raspberry Pi que se venden se utilizan en aplicaciones industriales y embebidas, y en muchos de esos casos los responsables de esas aplicaciones desarrollan proyectos que podrían ser considerados como IoT (Pastor, 2015). Su versión actual Raspberry Pi 3 Model B incluye un procesador Broadcom Quad-Core de 1.20 Gigahercios (GHz), RAM de 1 Gigabyte (GB), y su mayor novedad fue la inclusión de Wi-Fi y Bluetooth (4.1 Low

Energy) sin necesidad de adaptadores, las características de la gama de productos ofrecidos por la Fundación Raspberry Pi se pueden apreciar en la figura 19. Este proyecto utilizará la Raspberry Pi 3, que se encargará de dotar de inteligencia al robot.

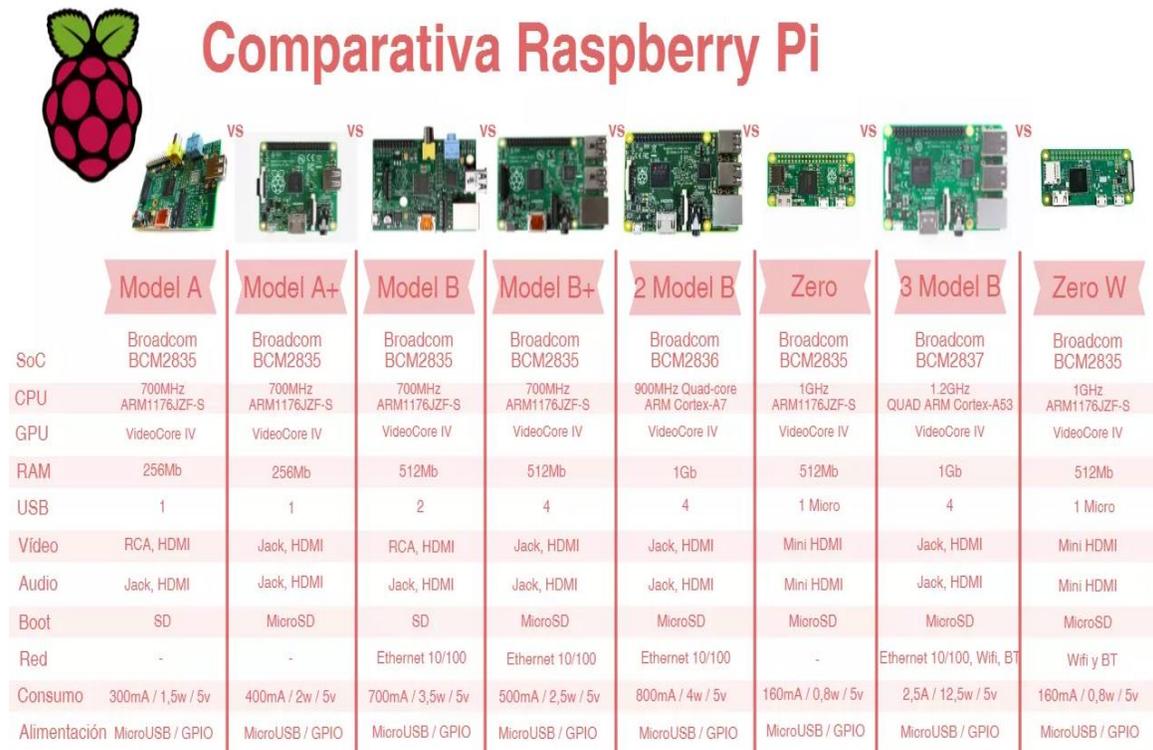


Figura 19. Comparativa Raspberry Pi

Fuente: Comohacer.eu, disponible en: <https://goo.gl/DAqTAF>.

3.4.2 Particle Electron

El Electron facilita la conexión del proyecto a una red celular, además de exportar datos de los medidores utilizados, está certificado por Federal Communications Commission (FCC), marca de certificación de Declaración de Conformidad empleada en productos electrónicos fabricados o vendidos en los Estados Unidos que certifica que la interferencia electromagnética del dispositivo está por debajo de los límites aprobados por

la Comisión Federal de Comunicaciones / Conformité Européenne o Conformidad Europea (CE), indica conformidad con las normas de salud, seguridad y protección ambiental para los productos vendidos dentro del Espacio Económico Europeo (EEE) / Innovation, Science and Economic Development Canada o ISED, anteriormente Industry Canada (IC), certificado de aceptación técnica (TAC) para equipos de radiodifusión y radiodifusión de categoría I / Personal Communications Service Type Certification Review Board (PTCRB), organismo de certificación seleccionado por los operadores celulares de América del Norte (Particle, 2017) para cumplir con cualquier estándar de tecnología de red móvil. Este hardware cuenta con tarjeta Subscriber Identity Module (SIM) que lo conecta a la red global (pueden trabajar con redes de más de 100 países) y los servicios en la nube, el Electron está pre-certificado y construido eficientemente para reducir costos de datos. Especificaciones celulares: U-Blox SARA U260 / U270 (3G) o G350 (2G), tarjeta telefónica SIM global, especificaciones del microcontrolador: STM32F205 ARM Cortex M3 microcontrolador, 1 Megabyte (MB) de Flash, 128K RAM y 30 GPIO de entrada mixta con periféricos avanzados.

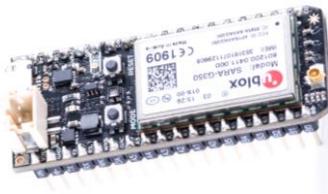


Figura 20. Particle Electron

Fuente: Didácticas Electrónicas, disponible en: <https://goo.gl/xnZ15h>.

En la figura 21, se listan los diferentes certificados que posee el dispositivo.

PARTICLE CERTIFICATIONS TABLE

Cert > ▼ Device	✓ certified	✗ not certified	*** in progress	N/A not applicable	cellular certifications				
	FCC	IC	CE	TELEC	RoHS	PTCRB	GCF	Carrier	UL
PO Module	✓*	✓*	✓*	✓	✓	N/A	N/A	N/A	N/A
Photon	✓	✓	✓	✓	✓	N/A	N/A	N/A	N/A
P1 Module	✓	✓	✓	✗	✓	N/A	N/A	N/A	N/A
Electron G350	✓	✓	✓	N/A	✓	Contact us	Contact us	Contact us	N/A
Electron U260	✓	✓	N/A	N/A	✓	✓	N/A	Contact us	N/A
Electron U270	N/A	N/A	✓	✗	✓	N/A	Contact us	Contact us	N/A

* the PO has no antenna, and is FCC/IC/CE certified under the reference design for the Photon

Figura 21. Cuadro de certificación de Particle

Fuente: Particle, disponible en: <https://goo.gl/KAYWdW>.

3.5 Vehículos aéreos no tripulados (VANT)

Un Unmanned Aerial Vehicle (UAV) o en español vehículos aéreos no tripulados (VANT), es una aeronave que no cuenta con tripulación humana y puede ser totalmente autónomo u operado por control remoto, y es un desarrollo tecnológico que cuenta con mayor evolución en los últimos años, sin duda, su utilización ha estado ligada históricamente a usos militares, los que pusieron en boca de millones de ciudadanos nombres como: drones, Unmanned Air Vehicles (UAVs), Unmanned Aerial Systems (UAS), Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS) (Cuerno-Rejado et al., 2016). Su accesibilidad disparó el ingenio de multitud de personas y empresas, que empezaron a idear posibles usos, lo que en la práctica fue su universalización (Aertec Solutions, 2015).

A pesar de sus posibles similitudes estructurales, un UAV no está relacionado con actividad deportiva de aeromodelo, porque estos últimos son controlados remotamente, su vuelo es restringido técnica y legalmente. Según William Pinilla (2008), docente de la

Escuela de Suboficiales de la Fuerza Aérea Colombiana: “Esta tecnología fue pensada inicialmente como una aeronave robot, capaz de volar en forma autónoma y cumplir una misión con unos objetivos específicos y definidos” (p. 2). Los UAV cuentan con sistemas avanzados de comunicación, control y navegación, entre ellos un medidor para vigilar desde el espacio aéreo ciertos blancos o terrenos de difícil acceso. Su evolución en materia de sistemas complejos o sistemas de aeronaves no tripuladas, que a diferencia del aeromodelo están compuestos por aeronave, estación de control, subsistemas de lanzamiento, recuperación, soporte, comunicación y sistema de transporte. A estos últimos sistemas no tripulados se les conoce comúnmente como drones, una adaptación del sustantivo inglés drone, que literalmente traduce “zángano” (Barrientos et al., 2009; Escamilla, 2010; Santibáñez, s/f). Las principales características para elegir un UAV son: autonomía, carga útil transportable, dimensiones, capacidad de despliegue, costos y tipo de misión que debe cumplir. A partir de esto los UAV se clasifican en corto, mediano y largo alcance, de acuerdo con su uso se dividen en seis tipos: de blanco, reconocimiento, combate, logística, investigación y desarrollo, comerciales y civiles (Chávez, García, Pérez, & Reyes, 2013; Parra, 2016; Portela-Bens, Laiz, Gallego García, Cabrera Castro, & Barbero, 2017; Vizcaíno, 2015).

3.5.1 Drones

Básicamente su uso en esta investigación se fundamenta por las ventajas y beneficios que permiten la colocación de pequeños medidores ligeros los cuales dan efectividad, reducidos costos en sus usos y para recoger datos de todo tipo según los objetivos propuestos. Asimismo, permitiría responder a preguntas en tiempo real, en tiempos menores con recursos mínimos e incluso hallar nuevas aristas en las investigaciones desde nuevos puntos de vista, desde el uso de una nueva herramienta de análisis e interpretación más cercana, posibilita a zonas de difícil acceso, es más económica y práctica. No es difícil hoy mencionar aplicaciones de los drones tales como:

investigaciones arqueológicas, accidentes de tránsito, ayuda a discapacitados, investigación de cetáceos, investigación de daños ocasionados por fenómenos meteorológicos severos, entre otros (Chávez et al., 2013; Parra, 2016; Portela-Bens et al., 2017; Vizcaíno, 2015). Interactuar tecnologías emergentes como IoT y los drones autónomos se convierte en un importante enfoque para la construcción de sistemas robóticos que puedan aprender comportamientos útiles entre los avances de la física y la computación que mejoren la navegación de los drones para toma de datos en investigaciones académicas. La construcción de un sistema robótico basado en un vehículo aéreo tiene los retos de: soportar una amplia variedad de software y hardware, y, dada la velocidad vertiginosa de la innovación en hardware, software y algoritmos, debe ser lo suficientemente flexible para ser fácilmente extensible; además de recolectar datos, de las tareas principales del dron será detectar y evadir obstáculos, tema que ha sido investigado en aplicaciones para sistemas automáticos de control de tráfico aéreo, en donde se requiere que el vehículo identifique obstáculos en su trayectoria y replantee la ruta (Albaker & Rahim, 2009).

3.5.2 Hexacóptero

Se pueden clasificar los UAV empleando multitud de características, tales como: tamaño, autonomía, forma de sustentación o utilidad, desde económicos y pequeños juguetes que se consiguen como aviones radio control, hasta grandes proyectos militares. Los helicópteros autónomos normalmente tienen un mayor consumo y una mecánica más compleja, pero poseen un excelente manejo, facilitan operar en zonas inhóspitas y rutas complejas.

Un multirrotor dispone de un número determinado de alas giratorias, cada una accionada por un motor, los mismos son los responsables de generar la sustentación del equipo. Su principio de funcionamiento aerodinámico es similar al de un helicóptero de una sola hélice

doble. Utilizar un hexacóptero a comparación de otro sistema eléctrico-mecánico se funda en tres ventajas principales (Silva González, 2015):

1. No demandan de sistemas de control mecánicos complicados y simplifican los procedimientos tanto en el diseño y mantenimiento del vehículo.
2. Cuentan con menos problemas estructurales y dinámicos.
3. Un UAV multirrotor permite el uso trama que consigue proteger toda la estructura en caso de colisión, garantizando misiones en entornos inhóspito y densos de obstáculos, con bajo riesgo de dañar el vehículo o sus alrededores.

Para el transporte de medidores que permitirán cuantificar las dosis de radiación solar recibida por las personas, utilizando un contador geiger para fotones, se utilizará un dron hexacóptero (ver figura 22) que pueda mover entre 2 a 5 kilogramos adicionales al peso de su estructura.



Figura 22. Hexacóptero profesional S800 EVO

Fuente: DJI drones, disponible en: <https://goo.gl/iC1whp>.

3.5.2.1 Controladora de vuelo Pixhawk

Es un sistema de piloto automático de código abierto orientado a aeronaves autónomas de bajo costo (ver figura 23). Todo el hardware y software de esta controladora

es de código abierto, disponible con una licencia Berkeley Software Distribution (BSD), que es una licencia de software libre permisiva, es decir, los usuarios pueden modificar la controladora de vuelo en función de sus propios requisitos especiales. Esta controladora permite un vuelo totalmente autónomo basado en puntos de ruta, con planificación de misiones y telemetría en tiempo real a través de la potente estación de control terrestre, funciona con el piloto automático Pixhawk y cuenta con GPS (Iguan Baño, 2017; Lin & Qi, 2016; Mera Chamorro & Ruano González, 2019). El código de esta controladora es capaz de controlar todas las armaduras principales del ala del rotor, incluidos los helicópteros tradicionales, Tricopter (3 / Y6), Quadrotor (X / +), Hexa (X / +) y Octa (X / + / V).



Figura 23. Controladora de vuelo Pixhawk

Fuente: Pixhawk, disponible en: <http://pixhawk.org/>.

Este es un dispositivo que implementa la robótica de código abierto (OSR) donde los diseños de los artefactos son ofrecidos de forma abierta, esta rama de la robótica hace uso de hardware de código abierto y el software libre que proporciona planos, esquemas y código fuente. El término generalmente significa que la información sobre el hardware se discierne fácilmente para que otros puedan obtenerla a partir de componentes y

herramientas estándar de productos básicos, acoplándola estrechamente al movimiento y a la ciencia abierta (Saboury, 2014).

Los comandos que utiliza la API de esta controladora de vuelo (Romero Galán, 2015) son:

- **Stabilize** (manual control).
- **Alt(itude) hold** (fixed Z).
- **Loiter** aka stationkeep (keep fixed X, Y, Z).
- **Land** (reduce Z until barometer detects descending rate <20cm/s and disarm).
- **Return to Launch** (RTL) – first climb to a prespecified altitude (RTL_ALTITUDE), then return to the arming position (HOME).
- **Guided Mode** (GOTO position).
- **Auto Mode:** Execute a script including waypoints, ending in Land, RTL or Loiter.

3.5.2.2 Protocolo de comunicación para drones MAVLink

Esta librería está desarrollada para poder implementarla en varios lenguajes de programación, entre ellos C, C++, Java y Python. Las funciones que implementa permiten tanto enviar mensajes codificados como decodificar los que recibe. El paquete Micro Air Vehicle Link (MAVLink) consiste en una secuencia codificada de bytes. Los protocolos Controller Area Network bus (CAN bus) y el estándar Society of Automotive Engineers (SAE) AS-4 valieron de inspiración para la creación de la estructura de los paquetes de este protocolo para drones (Dietrich, Andryeyev, Zimmermann, & Mitschele-Thiel, 2016; Hong, Kang, Lim, & Ahn, 2016), en este proyecto permitirá establecer la comunicación para el vuelo autónomo del dron. En la figura 24 se presenta la estructura de un paquete MAVLink.



Figura 24. Estructura de un paquete MavLink

Fuente: RPASlife.es, disponible en: <https://goo.gl/EVvv6M>.

Como se puede observar en la figura anterior, la cabecera está conformada por un conjunto de 6 bytes que indican diferentes metadatos asociados al mensaje. En la tabla 1 se explica la función de cada byte de la cabecera:

Tabla 1. Explicación byte cabecera paquete MavLink

Byte	Explicación
Inicio	Este byte indica el comienzo del paquete MAVLink.
Longitud	Indica el número de bytes que se van a enviar como payload del mensaje. Puede tomar un valor entre 0 y 255.
Número de secuencia	Muestra el número de paquete enviado según su pertenencia a la secuencia de los mismos con el objetivo de reordenar éstos en el destino (por si fuera éste de gran tamaño) o detectar paquetes perdidos. Puede tomar un valor entre 0 y 255.
Identificación del sistema	Identifica el sistema, mediante un número natural, que ha enviado el mensaje permitiendo diferenciar entre varios sistemas de la misma red. Puede tomar un valor entre 0 y 255.
Identificación del componente del sistema	Señala, mediante un número natural, el componente de dicho sistema que ha enviado el mensaje permitiendo de este modo diferenciar varios componentes dentro del mismo sistema. Puede tomar un valor entre 0 y 255.
Identificación del mensaje	Indica el tipo de mensaje enviado, señalando cómo se tiene que leer el payload que viene a continuación. Utilizando un símil, es una leyenda que indica cómo se debe leer y traducir la carga útil del mensaje. Puede tomar un valor entre 0 y 255.

Fuente: RPASlife.es, disponible en: <https://goo.gl/EVvv6M>.

En el Payload o carga útil del paquete es donde se encuentra la información que se desea transmitir. Su tamaño se especifica en el segundo byte de la cabecera correspondiente a la longitud del mensaje. Se pueden transportar desde 0 hasta 255 bytes de datos. El control de errores se realiza gracias a la información del Checksum (Fernandez, 2017). A continuación, en la figura 25 se presenta la arquitectura utilizada por este protocolo de comunicación:

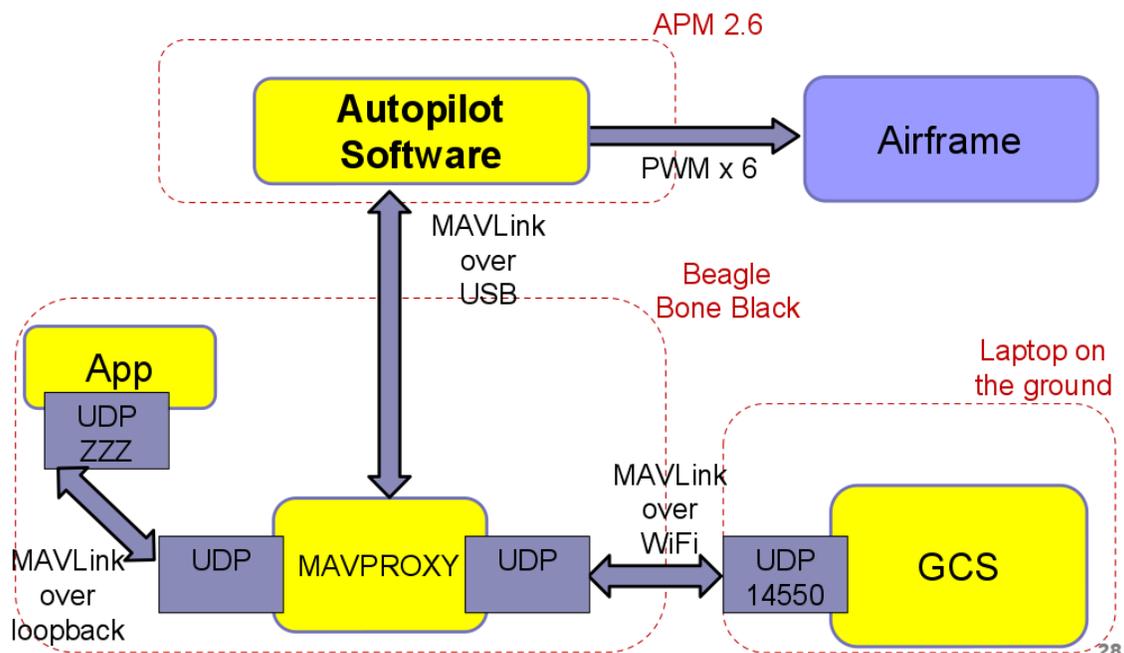


Figura 25. Arquitectura protocol de comunicación para drones MavLink

Fuente: RPASlife.es, disponible en: <https://goo.gl/EVvv6M>.

3.6 Metodologías de Desarrollo de Software

Una metodología de desarrollo se refiere al marco que se utiliza para estructurar, planificar y controlar el proceso de desarrollo de un sistema de información (Schmüller, 2000). Muchas de estas metodologías o marcos han evolucionado, con sus fortalezas y debilidades. Las metodologías de desarrollo no necesariamente son convenientes para

todos los proyectos, debido a que las metodologías disponibles son adecuadas para determinados tipos de proyectos, dependiendo de diversas consideraciones técnicas, organizativas, de proyectos y de equipo (Gómez et al., 2010). La mayoría de las metodologías de desarrollo de software se basan o provienen de otras metodologías de desarrollo que surgieron desde la revolución industrial, por eso es común que en libros de ingeniería de software se encuentren los mismos temas que en libros de desarrollo manufacturero (D. A. Pérez, Ginestá, Matías, & Hernández, 2007).

Desarrollar software involucra muchos procesos, que van desde su planificación hasta la puesta en marcha, se deben de alcanzar un sinnúmero de actividades. Hoy en día existen diversas metodologías para hacerlo, no obstante, es necesario definir primero la naturaleza del software antes de optar por un determinado ciclo de vida. A continuación, se describen las metodologías tradicionales y ágiles para desarrollo de software.

3.6.1 Metodologías Tradicionales

Cuando no existían metodologías de desarrollo de software, este se elaboraba de forma artesanal en su totalidad, toda vez que no existía una forma estructurada que contara con la finalidad de elaborar software de calidad, la necesidad de optimizar el proceso y llevar los proyectos al término deseado, obligaron a importar la concepción y fundamentos de metodologías existentes en otras áreas y aplicar al desarrollo de software (Zavala, 2004). Esta nueva etapa de adaptación contenía el desarrollo dividido en etapas de manera secuencial que de algo mejoraba la necesidad latente en el campo del software.

Las metodologías tradicionales imponen una disciplina de trabajo que hace énfasis en la planificación y análisis de riesgos, una vez que todo está detallado, inicia el ciclo de desarrollo del producto software. Se centran fundamentalmente en el control del proceso,

mediante una rigurosa definición de roles, actividades, artefactos, herramientas acompañadas de notaciones para el modelado y documentación detallada; pero es importante resaltar que las metodologías tradicionales no se adaptan adecuadamente a los cambios, por lo que no son métodos adecuados cuando se trabaja en un entorno, donde los requisitos no pueden predecirse o bien pueden modificar (Maida & Pacienza, 2015). Otra de las características importantes dentro de este enfoque es que tiene altos costos al implementar un cambio y al no ofrecer una buena solución para proyectos donde el entorno es volátil.

Entre las principales metodologías tradicionales tenemos los ya tan conocidos Rational Unified Process (RUP) en la figura 26 se aprecia su ciclo de vida, es un proceso de desarrollo de software desarrollado por la empresa Rational Software, actualmente propiedad de International Business Machines Corporation (IBM), con el Lenguaje Unificado de Modelado (UML), constituye la metodología estándar más utilizada para el análisis, diseño, implementación y documentación de sistemas orientados a objetos; Microsoft Solutions Framework (MSF) en la figura 27 se aprecia su ciclo de vida, es un conjunto de principios, modelos, disciplinas, conceptos y directrices para la prestación de servicios de tecnología de la información de Microsoft. MSF no se limita a desarrollar aplicaciones solamente; también es aplicable a otros proyectos de Tecnologías de la Información (TI) tales como: implementación, redes o proyectos de infraestructura (O. Pérez, 2011); entre otros, que centran su atención en llevar una documentación exhaustiva de todo el proyecto y centran su atención en cumplir con un plan de proyecto, definido todo esto, en la fase inicial del desarrollo del proyecto. Las metodologías tradicionales (formales) se focalizan en documentación, planificación y procesos. (Plantillas, técnicas de administración, revisiones, entre otros).

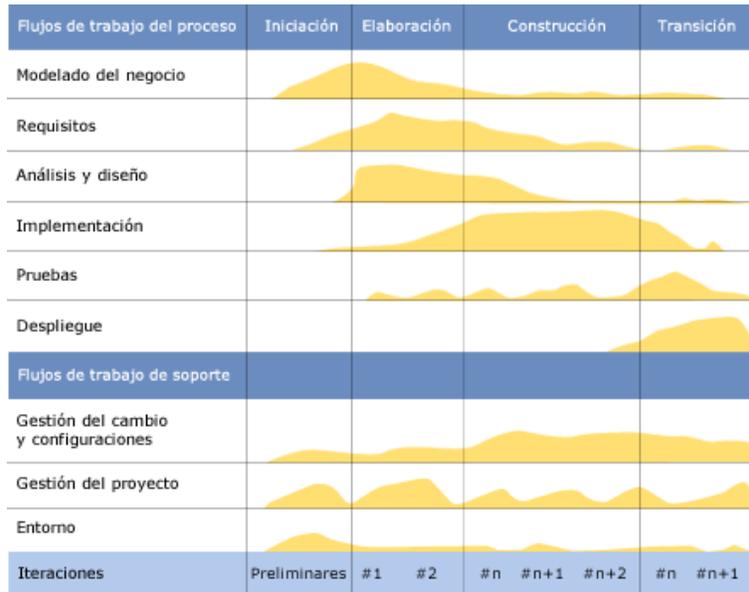


Figura 26. Ciclo de vida de la metodología RUP

Fuente: (O. Pérez, 2011), disponible en: <https://goo.gl/69cUsT>.



Figura 27. Ciclo de vida de la metodología MSF

Fuente: (O. Pérez, 2011), disponible en: <https://goo.gl/69cUsT>.

3.6.2 Metodologías Ágiles

En febrero de 2001, después de una reunión celebrada en Utah-EE.UU., aparece el término “ágil” aplicado al desarrollo de software. En esta reunión participan un grupo de 17 expertos de la industria del software, incluyendo algunos de los creadores o promotores de metodologías de software. Su objetivo fue delinear los valores y principios que deberían permitir a los equipos desarrollar software rápidamente y respondiendo a los cambios que puedan surgir a lo largo del proyecto. Se intentaba ofrecer una alternativa a los procesos de desarrollo de software tradicionales, caracterizados por ser rígidos y dirigidos por la documentación que se genera en cada una de las actividades desarrolladas (Canós, Letelier, Penadés, & Valencia, 2003). Las metodologías ágiles son aquellas que permiten adaptar la forma de trabajo a las condiciones del proyecto, obteniendo flexibilidad e inmediatez en la respuesta para acondicionar el proyecto y su desarrollo a las circunstancias específicas del entorno.

Agile Alliance, es una organización, sin ánimo de lucro, dedicada a promover los conceptos relacionados con el desarrollo ágil de software y ayudar a las organizaciones para que adopten dichos conceptos (Agile Alliance, 2018). El punto de partida es el Manifiesto Ágil, documento que resume la filosofía “ágil”; este manifiesto comienza enumerando los principales valores del desarrollo ágil (Beedle et al., 2001), se valora:

- Al individuo y las interacciones del equipo de desarrollo sobre el proceso y las herramientas. La gente es el principal factor de éxito de un proyecto software. Es más importante construir un buen equipo que construir el entorno. Muchas veces se comete el error de construir primero el entorno y esperar que el equipo se adapte automáticamente. Es mejor crear el equipo y que éste configure su propio entorno de desarrollo en base a sus necesidades.

- Desarrollar software que funciona más que conseguir una buena documentación. La regla a seguir es “no producir documentos a menos que sean necesarios de forma inmediata para tomar una decisión importante”. Estos documentos deben ser cortos y centrarse en lo fundamental.
- La colaboración con el cliente más que la negociación de un contrato. Se propone que exista una interacción constante entre el cliente y el equipo de desarrollo. Esta colaboración entre ambos será la que marque la marcha del proyecto y asegure su éxito.
- Responder a los cambios más que seguir estrictamente un plan. La habilidad de responder a los cambios que puedan surgir a lo largo del proyecto (cambios en los requisitos, en la tecnología, en el equipo, entre otros) determina también el éxito o fracaso del mismo. Por lo tanto, la planificación no debe ser estricta sino flexible y abierta.

Los valores anteriores inculcan los doce principios del manifiesto. Son particularidades que diferencian un proceso ágil de uno tradicional. Los dos primeros principios son generales y resumen gran parte del espíritu ágil. El resto tienen que ver con el proceso a seguir y con el equipo de desarrollo, en cuanto metas a seguir y organización del mismo (Martin, 2003). Los principios son:

I. La prioridad es satisfacer al cliente mediante tempranas y continuas entregas de software que le aporte un valor. Un proceso es ágil si a las pocas semanas de empezar ya entrega software que funcione, aunque sea rudimentario. El cliente decide si pone en marcha dicho software con la funcionalidad que ahora le proporciona o simplemente lo revisa e informa de posibles cambios a realizar.

II. Dar la bienvenida a los cambios. Se capturan los cambios para que el cliente tenga una ventaja competitiva. Este principio es una actitud que deben adoptar los miembros del equipo de desarrollo. Los cambios en los requisitos deben verse como algo positivo. Les va a permitir aprender más, a la vez que logran una mayor satisfacción del cliente. Este principio implica además que la estructura del software debe ser flexible para poder incorporar los cambios sin demasiado coste añadido. El paradigma orientado a objetos puede ayudar a conseguir esta flexibilidad.

A continuación, los principios que tienen que ver directamente con el proceso de desarrollo de software a seguir:

III. Entregar frecuentemente software que funcione desde un par de semanas a un par de meses, con el menor intervalo de tiempo posible entre entregas. Las entregas al cliente se insisten en que sean software, no planificaciones, ni documentación de análisis o de diseño.

IV. La gente del negocio y los desarrolladores deben trabajar juntos a lo largo del proyecto. El proceso de desarrollo necesita ser guiado por el cliente, por lo que la interacción con el equipo es muy frecuente.

V. Construir el proyecto en torno a individuos motivados. Darles el entorno y el apoyo que necesitan y confiar en ellos para conseguir finalizar el trabajo. La gente es el principal factor de éxito, todo lo demás (proceso, entorno, gestión, etc.) queda en segundo plano. Si cualquiera de ellos tiene un efecto negativo sobre los individuos debe ser cambiado.

VI. El diálogo cara a cara es el método más eficiente y efectivo para comunicar información dentro de un equipo de desarrollo. Los miembros de equipo deben hablar entre ellos, éste es el principal modo de comunicación. Se pueden crear documentos pero no todo estará en ellos, no es lo que el equipo espera.

VII. El software que funciona es la medida principal de progreso. El estado de un proyecto no viene dado por la documentación generada o la fase en la que se encuentre, sino por el código generado y en funcionamiento. Por ejemplo, un proyecto se encuentra al 50% si el 50% de los requisitos ya están en funcionamiento.

VIII. Los procesos ágiles promueven un desarrollo sostenible. Los promotores, desarrolladores y usuarios deberían ser capaces de mantener una paz constante. No se trata de desarrollar lo más rápido posible, sino de mantener el ritmo de desarrollo durante toda la duración del proyecto, asegurando en todo momento que la calidad de lo producido es máxima.

Los últimos principios están claramente relacionados con el equipo de desarrollo, en cuanto metas a seguir y organización del mismo.

IX. La atención continua a la calidad técnica y al buen diseño mejora la agilidad. Producir código claro y robusto es la clave para avanzar más rápidamente en el proyecto.

X. La simplicidad es esencial. Tomar los caminos más simples que sean consistentes con los objetivos perseguidos. Si el código producido es simple y de alta calidad será más sencillo adaptarlo a los cambios que puedan surgir.

XI. Las mejores arquitecturas, requisitos y diseños surgen de los equipos organizados por sí mismos. Todo el equipo es informado de las responsabilidades y éstas recaen sobre todos sus miembros. Es el propio equipo el que decide la mejor forma de organizarse, de acuerdo a los objetivos que se persigan.

XII. En intervalos regulares, el equipo reflexiona respecto a cómo llegar a ser más efectivo, y según esto ajusta su comportamiento. Puesto que el entorno está cambiando continuamente, el equipo también debe ajustarse al nuevo escenario de forma continua. Puede cambiar su organización, sus reglas, sus convenciones, sus relaciones, entre otros, para seguir siendo ágil.

Aunque los creadores e impulsores de las metodologías ágiles más populares han suscrito el manifiesto ágil y coinciden con los principios enunciados anteriormente, cada metodología tiene características propias y hace hincapié en algunos aspectos más específicos. A continuación, se resumen dichas metodologías ágiles (Maida & Pacienza, 2015), y luego se describirá la metodología SCRUM que corresponde a la seleccionada en este proyecto para el proceso de desarrollo de software.

eXtreme Programming (XP). La programación extrema o eXtreme Programming (XP) es un enfoque de la ingeniería de software formulado por Kent Beck, autor del primer libro sobre la materia (Beck & Andres, 2004). Es el más destacado de los procesos ágiles de desarrollo de software. Al igual que éstos, la programación extrema se diferencia de las metodologías tradicionales especialmente porque ubica más énfasis en la adaptabilidad que en la previsibilidad. Los defensores de XP piensan que los cambios de requisitos sobre la marcha son un aspecto natural, ineludible e incluso deseable del desarrollo de proyectos.

Adaptive Software Development (ASD). Su impulsor es Jim Highsmith. Sus primordiales características son: iterativo, orientado a los componentes software más que a las tareas y tolerante a los cambios. El ciclo de vida que propone tiene tres fases: especulación, colaboración y aprendizaje. En la primera de ellas se inicia el proyecto y se planifican las características del software; en la segunda desarrollan las características y finalmente en la tercera se revisa su calidad, y se entrega al cliente. La revisión de los componentes sirve para aprender de los errores y volver a iniciar el ciclo de desarrollo (Highsmith III, 2013).

Crystal Methodologies. Se trata de un conjunto de metodologías para el desarrollo de software distinguidas por estar centradas en las personas que componen el equipo (de ellas depende el éxito del proyecto) y la disminución al máximo del número de artefactos producidos. Fue desarrollada por Alistair Cockburn (Cockburn, 2004). El desarrollo de software se piensa como un juego cooperativo de invención y comunicación, limitado por los recursos a utilizar. El equipo de desarrollo es un factor clave, por lo que se deben invertir esfuerzos en mejorar sus habilidades y destrezas, así como tener políticas de trabajo en equipo definidas. Estas políticas dependerán del tamaño del equipo, estableciéndose una clasificación por colores, por ejemplo, Crystal Clear (3 a 8 miembros) y Crystal Orange (25 a 50 miembros).

Dynamic Systems Development Method (DSDM). Define el marco para desarrollar un proceso de producción de software. Nace en 1994 con el objetivo el objetivo de crear una metodología Rapid Application Development (RAD) unificada. Sus más importantes características son: es un proceso iterativo e incremental y el equipo de desarrollo y el usuario trabajan juntos. Propone cinco fases: estudio viabilidad, estudio del negocio, modelado funcional, diseño y construcción, y finalmente implementación. Las tres últimas son iterativas, además de existir realimentación a todas las fases (Voigt, 2004).

Lean Development (LD). Definida por Bob Charette's a partir de su experiencia en proyectos con la industria japonesa del automóvil en los años 80 y utilizada en numerosos proyectos de telecomunicaciones en Europa. En LD, los cambios se consideran riesgos, pero si se manejan adecuadamente se pueden convertir en oportunidades que mejoren la productividad del cliente. Su principal característica es introducir un mecanismo para implementar dichos cambios (Poppendieck & Cusumano, 1991).

Feature-Driven Development (FDD). Concreta un proceso iterativo que consta de 5 pasos. Las iteraciones son cortas (hasta 2 semanas). Se centra en las fases de diseño e implementación del sistema partiendo de una lista de particularidades que debe reunir el software. Sus impulsores son Jeff De Luca y Peter Coad (Gyger, 2003).

SCRUM. Desarrollada por Ken Schwaber, Jeff Sutherland y Mike Beedle. Define un marco para la gestión de proyectos, que se ha utilizado con éxito durante los últimos 10 años. Está especialmente indicada para proyectos con un rápido cambio de requisitos. Sus principales particularidades se pueden sintetizar en dos. El desarrollo de software se realiza mediante iteraciones, denominadas sprints, con una duración de 30 días. El resultado de cada sprint es un incremento ejecutable que se muestra al cliente. La segunda característica importante son las reuniones a lo largo proyecto. Las protagonistas del proceso, especialmente la reunión diaria de 15 minutos del equipo de desarrollo para coordinación e integración (Schwaber, 2004).

A continuación, en la Tabla 2 se comparan las diferentes aproximaciones ágiles en base a tres parámetros: vista del sistema como algo cambiante, tener en cuenta la colaboración entre los miembros del equipo y características más específicas de la propia metodología como son simplicidad, excelencia técnica, resultados, adaptabilidad, entre

otros. También incorpora como referencia no ágil el Capability Maturity Model10 (CMM). En esta tabla los valores más altos representan una mayor agilidad.

Tabla 2. Ranking de “agilidad”.

	ASD	Crystal	DSDM	FDD	LD	Scrum	XP	CMM
Sistema como algo cambiante	1	5	4	3	3	4	5	5
Colaboración	2	5	5	4	4	4	5	5
Características Metodología (CM)								
-Resultados	2	5	5	4	4	4	5	5
-Simplicidad	1	4	4	3	5	3	5	5
- Adaptabilidad	2	5	5	3	3	4	4	3
-Excelencia técnica	4	3	3	4	4	4	3	4
-Prácticas de colaboración	2	5	5	4	3	3	4	5
Media CM	2.2	4.4	4.4	3.6	3.8	3.6	4.2	4.4
Media Total	1.7	4.8	4.5	3.6	3.6	3.9	4.7	4.8

Fuente: Highsmith III, (2013).

3.6.3 Comparación Metodologías Ágiles y Tradicionales

Se enumeran a continuación las más importantes diferencias de las Metodologías Ágiles respecto a las Metodologías Tradicionales llamadas también “no ágiles” o “pesadas”. La Tabla 3 lista estas diferencias, que no se refieren sólo al proceso en sí, sino también al contexto de equipo y organización que es más favorable a cada uno de estas filosofías de procesos de desarrollo de software.

Tabla 3. Diferencias entre Metodologías Tradicionales y Ágiles.

Metodología Ágil	Metodología Tradicional
Pocos Artefactos. El modelado es prescindible, modelos desechables.	Más Artefactos. El modelado es esencial, mantenimiento de modelos
Pocos Roles, más genéricos y flexibles	Más Roles, más específicos
No existe un contrato tradicional, debe ser bastante flexible	Existe un contrato prefijado
Cliente es parte del equipo de desarrollo (además in-situ)	El cliente interactúa con el equipo de desarrollo mediante reuniones
Orientada a proyectos pequeños. Corta duración (o entregas frecuentes), equipos pequeños (< 10 integrantes) y trabajando en el mismo sitio	Aplicables a proyectos de cualquier tamaño, pero suelen ser especialmente efectivas/usadas en proyectos grandes y con equipos posiblemente dispersos
La arquitectura se va definiendo y mejorando a lo largo del proyecto	Se promueve que la arquitectura se defina tempranamente en el proyecto
Énfasis en los aspectos humanos: el individuo y el trabajo en equipo	Énfasis en la definición del proceso: roles, actividades y artefactos

Basadas en heurísticas provenientes de prácticas de producción de código	Basadas en normas provenientes de estándares seguidos por el entorno de desarrollo
Se esperan cambios durante el proyecto	Se espera que no ocurran cambios de gran impacto durante el proyecto

Fuente: (Arteaga Camacho, 2014).

3.7 Software Empleado

Las herramientas de desarrollo utilizadas son de Software Libre u Open Source, software desarrollado y distribuido libremente, la libertad se refiere al poder modificar la fuente del programa sin restricciones de licencia, ya que muchas empresas de software encierran su código, ocultándolo, y restringiéndose los derechos a sí misma (Openbiz, 2009; Stallman, 2004). A continuación, se listan los entornos y herramientas a utilizar en este proyecto.

3.7.1 Distribución GNU Linux Elementary OS

Partiendo del entorno de trabajo utilizado, este proyecto se desarrollará en un ordenador con el sistema operativo Linux y su distribución Elementary OS basada en Ubuntu LTS (a su vez basada en Debian) (Elementary OS, s/f). Usa un entorno de escritorio basado en GNOME con un shell propio llamado Pantheon. Dicho entorno destaca por ser más ligero que GNOME Shell y por la integración con otras aplicaciones de elementary OS como Plank (dock) y Midori (el navegador Web); al estar basada en Ubuntu, es totalmente compatible con sus repositorios y paquetes. Desde la versión 0.4, incorpora una tienda de software propia, AppCenter, basada en el modelo Paga lo que quieras (Pay what you want, en inglés). Su interfaz se inspira en la funcionalidad y simplicidad de Mac

OS X, aunque cabe destacar que está totalmente diseñada desde cero, y aspira a ser intuitiva para los nuevos usuarios (como Ubuntu Unity) sin consumir excesivos recursos, según Daniel Fore (2015), fundador de elementary OS, la distribución no está para competir con otros de código abierto existentes, sino para ampliar su alcance. Esta distribución busca crear empleos de código abierto a través de recompensas por el desarrollo de tareas específicas (Foré, James, & Garver, 2015).

La versión propuesta a utilizar en este proyecto es Elementary OS 0.4 (última versión), conocido con su nombre clave Loki, lanzado el 9 de septiembre de 2016, la versión de esta distribución fue desarrollada sobre la versión LTS (soporte de largo plazo) de Ubuntu, lanzada a principios de 2016. Loki reemplazó el navegador web Midori de Freya con Epiphany, un navegador WebKit2 con mejor rendimiento. Como todos los sistemas operativos derivados de Unix, Loki dispone de un intérprete de órdenes o terminal (en inglés shell) que sirve de interfaz no gráfica entre el usuario y el propio sistema operativo. Esta terminal, facilita el uso de NodeJS, del framework usado y de la administración de dependencias, lo que motiva la selección de este sistema operativo que está en auge.

3.7.2 Node.js

Es un entorno en tiempo de ejecución multiplataforma, de código abierto, para la capa del servidor (no limitándose a ello) basado en el lenguaje de programación ECMAScript, asíncrono, con I/O de datos en una arquitectura orientada a eventos y basado en el motor V8 de Google. Creado por Ryan Dahl en 2009, con la orientación de ser útil en la creación de programas de red altamente escalables, su evolución está patrocinada por la empresa Joyent (Node.js Foundation, 2017). En servidores Web tradicionales, un usuario puede estar usando diferentes servidores para cada solicitud, así que cualquier recurso compartido debe almacenarse en todos los servidores, esto genera un cuello de

78

botella en toda la arquitectura de aplicación Web que incluye el provecho del tráfico, la velocidad de procesador y la velocidad de memoria, porque el sistema se limita al número máximo de conexiones concurrentes que puede manejar un servidor; Node.js resuelve este inconveniente al cambiar la forma en que se realiza una conexión con el servidor, en lugar de generar un nuevo hilo en el sistema operativo para cada conexión, cada conexión dispara una ejecución de evento dentro del proceso del motor de Node.js haciendo que un servidor que lo ejecute puede soportar decenas de miles de conexiones concurrentes (Cook, 2015; Tilkov & Verivue, 2010).

Node.js ejecuta el motor V8 JavaScript, este es el motor JavaScript subyacente que Google usa con su navegador Chrome, un motor JavaScript, en realidad interpreta el código y lo ejecuta. Con el V8, Google creó un intérprete escrito en C++, con el aspecto que se puede descargar el motor e incorporarlo a cualquier aplicación esto quiere decir que no está restringido a ejecutarse en un navegador. Así, Node.JS en realidad usa el motor V8 JavaScript escrito por Google, pero para usarlo en el servidor. Node.JS es similar en su propósito a Twisted o Tornado de Python, Perl Object Environment de Perl, libevent o libev de C, EventMachine de Ruby, vibe.d de D y Java Platform, Enterprise Edition (JEE) de Java existe Apache MINA, Netty, Akka, Vert.x, Grizzly o Xsocket (Mulder & Breseman, 2017). En estos términos, Node.JS resulta una opción muy interesante para programar el IoT porque está dirigido a eventos asíncronos, modelo de I/O no bloqueantes, escalable, ligero, con buen rendimiento y una comunidad amplia y activa. Entre las diferentes implementaciones con Node.JS en IoT se pueden encontrar desarrollos para sistemas de comunicación inalámbrica para dispositivos inteligentes, dispositivos wearables (de uso diario), domótica, Autonomous Underwater Vehicle (AUV), entre otros (Básaca-Preciado et al., 2017; M. Chen & Zhu, 2017; Sutiono, Nugroho, & Karyono, 2016; Watthanawisuth, Maturus, Sappat, & Tuantranont, 2015). En este proyecto facilitará la comunicación con los microcontroladores Particle Photon, Particle Electron, medidores y la Raspberry Pi 3 para el envío de comandos para el algoritmo en el AUV, la API

desarrollada con esta herramienta facilitará el almacenamiento local de la información utilizando el motor de bases de datos Redis y en la nube con el motor FireBase.

3.7.3 Python

Los distintos desarrollos software de este proyecto se proponen utilizando este lenguaje de programación, además que el protocolo MavLink provee de la librería llamada pyMavlink, que se trata de un módulo para Python, para gestionar el protocolo a bajo nivel. Algunas de las características principales del lenguaje Python son las siguientes (Python, 2017):

- Es un lenguaje multipropósito con el que pueden hacerse scripts, aplicaciones con interfaz gráfica o incluso desarrollos web.
- Es interpretado, es decir, el código no tiene que ser previamente compilado. Esta característica aumenta la velocidad de desarrollo, pero, en contrapartida, reduce la velocidad de ejecución del software. En algunos casos, cuando se ejecuta por primera vez un código, se producen unos códigos que se guardan en el sistema y que aceleran la ejecución próxima del software.
- Es multiplataforma, habiendo versiones disponibles de Python en muchos sistemas informáticos distintos.
- Es dinámicamente tipado, es decir, una misma variable puede tomar valores de distinto tipo en distintos momentos.
- Dispone de funciones y librerías incorporadas para el tratamiento de cadenas de caracteres, números, archivos, entre otros.
- Es multiparadigma, permitiendo combinar programación orientada a objetos con programación orientada a procedimientos.

- Es interactivo. Dispone de un intérprete por línea de comandos en que pueden introducirse sentencias y ejecutarlas una a una, ayudando así al proceso de desarrollo.
- Posee una licencia de código abierto, denominada Python Software Foundation License,¹ que es compatible con la Licencia pública general de GNU a partir de la versión 2.1.1, por lo que su uso es libre de forma personal, empresarial o académica.

3.7.4 Redis

Es un motor de base de datos en memoria, basado en el almacenamiento en tablas de hashes (clave/valor), almacena valores asociados a una clave, opcionalmente puede ser utilizada como una base de datos persistente. Está escrito en ANSI C por Salvatore Sanfilippo, está liberado bajo licencia BSD por lo que es considerado software de código abierto (Redis Labs, 2017; Seguin, 2012). A diferencia de otras bases de datos clave – valor, dispone de numerosos tipos de datos complejos como listas, pilas, colas, conjuntos, conjuntos ordenados y operaciones atómicas definidas para esos tipos de datos. Este motor de bases de datos NoSQL (Not only SQL), que es un término que aparece a finales de los 90 y que abarca todas las tecnologías de almacenamiento estructurado que no cumplen el esquema relacional, este tipo de sistemas ofrecen gran flexibilidad y posibilidades novedosas, brindan una nueva forma de pensar en el desarrollo de aplicaciones Web orientadas y centradas en el usuario (Romero, Sanabria, & Cuervo, 2012). Los sistemas de clave-valor como redis, proveen un rendimiento excelente en el desarrollo de aplicaciones en IoT, en el manejo de grandes volúmenes de datos, a cambio de ser muy simples y renunciar a funcionalidades disponibles en otros sistemas como la verificación intrínseca de la integridad de datos, llaves foráneas y disparadores. Las validaciones de los datos se delegan completamente en la aplicación cliente, siendo la base de datos, simplemente el lugar donde se guardan los datos. No se verifican integridades, no se

comprueban referencias cruzadas, todo esto se ha de implementar a nivel de aplicación, en el código del cliente (Mai, Nurminen, & Di Francesco, 2014).

3.7.5 FireBase

Firestore es una plataforma de desarrollo de aplicaciones móviles y web desarrollada por Firebase, Inc. en 2011, luego adquirida por Google en 2014. Google Firebase es un completo sistema de herramientas que añade características avanzadas como analíticas (Firestore Analytics), mensajería en la nube, monetización, base de datos en tiempo real, notificaciones tipo push e interactividad al proyecto. Con Firestore, no es necesario solicitar apoyo para la construcción de Web Services, API Rest, configuración del servidor, entre otros; el hecho de tener una librería multiplataforma, garantiza poder utilizar la misma lógica del código para cada lenguaje de programación; Google Analytics para Firestore permite comprender el comportamiento de los usuarios; ofrece almacenamiento de datos en la nube, procesos de autenticación de usuarios, servicio de base de datos, reporte de errores; las notificaciones tipo Push en la librería oficial de Firestore se pueden implementar de manera intuitiva y con pocas líneas de código (Mateos Pérez, 2012). Existen diversos proyectos relacionados con IoT donde se ha implementado esta tecnología para automatización, comunicación, gestión de servicios, entre otros (Boman, Taylor, & Ngu, 2014; Daramas, Pattarakitsophon, Eiumtrakul, Tantidham, & Tamkittikhun, 2016; Lahlou & Baran, 2016; Radu, Costan, Iancu, Dadarlat, & Peculea, 2015), un ejemplo de proyectos IoT se puede apreciar en la figura 28.



Figura 28. Ejemplo de diagrama de sistema datos de Medidor a FireBase

Fuente: Microcontroller Projects, disponible en: <https://goo.gl/6LLt6z>.

Capítulo 4. Metodología

4.1 Preliminar

Este trabajo está enmarcado dentro de un tipo de investigación cuantitativa, cuyo alcance se encuentra definido en el aspecto correlacional. Las variables de correlación como: temperatura, presión, tasa de exposición (X/t), altura, proximidad, longitud y latitud se cuantificarán de tal modo que permitirán inferir la información suficiente y necesaria en el proceso de medición de la dosis de radiación absorbida por los habitantes del litoral Caribe Colombiano, cuando estos se exponen a la radiación solar.

Para alcanzar los objetivos mencionados se han planteado las siguientes metodologías adaptando un esquema de investigación llamado modelo integral para el profesional en ingeniería (Serrano Castaño, 2002), como se observa en la figura 29:



Figura 29. Metodologías para el desarrollo del proyecto

Fuente: Propia.

De acuerdo con este modelo, son identificados tres grandes componentes: el Modelo de Investigación Documental (Hoyos Botero, 2000) utilizado para la generación de la base conceptual, el proceso de desarrollo inspirado en metodologías ágiles para software aplicado al desarrollo de proyectos hardware/software (Cordeiro et al., 2008) y una metodología para la evaluación experimental que será definida en el proceso de ejecución del proyecto mediante el análisis de DESMET (Kitchenham, Linkman, & Law, 1997).

Este modelo establece una referencia metodológica integral útil para establecer el conjunto de procedimientos para alcanzar los objetivos del proyecto, la integralidad de este modelo se sustenta al contener las siguientes dimensiones: construcción del conocimiento, no existente localmente, generación del conocimiento, no existente socialmente y aplicación de los conocimientos existentes para solución de necesidades sociales (Serrano Castaño, 2002).

4.1.1 Investigación Cuantitativa

La investigación cuantitativa es una forma organizada de compilar y analizar datos obtenidos de distintas fuentes. Involucra el uso de magnitudes numéricas, herramientas informáticas del campo de la estadística para obtener resultados. Es concluyente en su propósito ya que trata de cuantificar el problema y entender qué tan generalizado está mediante la búsqueda de resultados que pueden ser proyectados a una población mayor, debido a que tiene un largo alcance y suele usarse para explorar las causas de problemas potenciales que puedan existir. Para su aplicación, se requiere que haya claridad entre los elementos de investigación que conforman el problema, que sea posible definirlo, limitarlos y saber exactamente dónde se inicia el problema, en qué dirección va y qué tipo existe entre sus elementos: Su naturaleza es descriptiva, permite al investigador "predecir"

el comportamiento del consumidor, los métodos de investigación incluyen experimentos y encuestas, los resultados son descriptivos y pueden ser generalizados (IEPES, 2009). En este sentido, los datos cuantificados tomados con los medidores del robot en este proyecto fueron analizados a través del uso de un modelo matemático que permitió calcular las variables de tasa de exposición y equivalente de dosis absorbida para establecer la proyección de resultados sobre la población de la muestra. Esta investigación cuantitativa con alcance definido en el aspecto correlacional tiene el beneficio de permitir conocer cómo se puede comportar una variable conociendo el comportamiento de otra u otras variables relacionadas, según Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, (2003), afirman que el alcance correlacional “*tiene como propósito evaluar la relación que exista entre dos o más variables o conceptos*”, (p.122). En este sentido, si dos variables están correlacionadas, significa que una se modifica cuando la otra también varía y la correlación puede ser positiva o negativa. Si es positiva, los sujetos con altos valores en una variable tienden a mostrar altos valores en la otra variable. Si es negativa, los sujetos con altos valores en una variable tenderán a mostrar bajos valores en la otra variable. Si dos variables están correlacionadas y se conoce la correlación, se tienen las bases para predecir el valor aproximado que tendrá un grupo en una variable, sabiendo el valor que tienen en la otra variable. Al saber que variables están relacionadas se aporta cierta información explicativa. Cuanto mayor número de variables sean correlacionadas en un estudio y mayor sea la fuerza de la relación más completa será la explicación. Si no hay correlación entre las variables, ello indica que estas varían sin seguir un patrón sistemático entre sí: habrá sujetos que tengan altos valores en una de las dos variables y bajos en la otra, sujetos que tengan altos valores en una de las variables y valores medios en la otra, sujetos que tengan altos valores en las dos variables y otros que tengan valores bajos o medios en ambas variables (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014). Cuantificar la información utilizando el dron permitió evaluar la correlación de las variables como: temperatura, presión, tasa de exposición (X/t), altura, proximidad, longitud y latitud que se medirán de tal modo que permitirán inferir la información suficiente y necesaria en el

proceso de medición de la dosis de radiación absorbida por los habitantes del litoral Caribe Colombiano.

4.1.2 Modelo para la investigación documental

En todo proceso de investigación es ineludible seguir varios pasos esenciales, para abordar cualquier problema. Uno de ellos es el estado del arte, cuya preparación es requerida para consolidar la formulación del problema o tema investigativo. El resultado esencial de la construcción del estado del arte es la definición del objeto de investigación y la elaboración del marco teórico del proyecto de investigación. Según lo planteado por (Hoyos Botero, 2000), el estado del arte permite en la investigación documental el estudio del conocimiento escrito dentro de un área específica; su propósito es dar cuenta del sentido del material documental sometido a análisis, con el fin de revisar de manera minuciosa y metódica los documentos que tratan sobre un tema específico.

La recopilación crítica de considerables tipos de texto de un área o disciplina formaliza el proceso cognitivo de una investigación a través de la lectura de la bibliografía encontrada durante la indagación del problema, los temas y los contextos (Vélez & Calvo, 1992). Es importante explicar que todo estado del arte se realiza como un marco conceptual y que no existen estados del arte universales, lo que se busca es contextualizar la información, para definir límites, los parámetros de análisis y sistematización, además, encontrar si ese tema ya ha sido investigado. En resumen, se define esta fase en el proyecto como el balance de la acumulación de información que inicia de la interpretación por núcleo temático, para estar a la mira en información como: resultados del estudio, vacíos, tendencias, restricciones, dificultades y logros con el fin de presentar el estado actual de la investigación de manera global que permita situar líneas de investigación. En este sentido, utilizar este modelo de investigación documental orienta las siguientes fases:

1. Fase preparatoria: Tiene como fin orientar con sustento teórico, como se realizará el estudio, temática seleccionada y los pasos a seguir a través del estudio.
2. Fase descriptiva: Revisión de los diferentes tipos de estudio que se han realizado del tema central, delimitaciones espaciales, temporales y contextuales con los que se han realizado.
3. Fase de interpretación por núcleos temáticos: Se analiza el conjunto de datos de la fase anterior, con el fin de obtener nuevos datos por cada uno de ellos, trascendiendo de lo descriptivo al planteamiento de hipótesis o aseveraciones de utilidad para la siguiente fase.
4. Fase de construcción teórica global: Busca identificar vacíos, restricciones, problemas, tendencias y logros obtenidos en la temática estudiada con el fin de presentar el estado actual de la investigación y permitir orientar procesos de investigación.
5. Fase de extensión y publicación: Divulgación de los resultados de la investigación documental.

4.1.3 Modelo de desarrollo de proyectos hardware/software

Muchas metodologías de desarrollo que se utilizan para producir software que se ejecuta en los ordenadores personales (PC) no son adecuados para el desarrollo de sistemas embebidos basados en IoT, estos dispositivos comparten características comunes con sistemas de tiempo real, es decir, tienen una etapa de adquisición de datos, la aplicación de un algoritmo de control, seguido por la salida de un resultado, además, hardware dedicado y software con las limitaciones que no son comunes a los sistemas basados en PC (por ejemplo, el gasto de energía, tiempo de ejecución, consumo de memoria, entre otros). El desarrollo de sistemas embebidos se caracteriza por la necesidad de desarrollar software y

hardware al mismo tiempo (Wolf, 1994), por ello utilizar metodologías que permitan dar mayor valor al individuo, la colaboración del cliente, adaptación al cambio de requerimientos y al desarrollo incremental del software, permitirán alcanzar el logro de los objetivos definidos en este proyecto. En febrero de 2001, en una reunión celebrada en Utah – USA, nace con la finalidad de delinear los valores y principios que deberían permitir a los equipos desarrollar software rápidamente y respondiendo a los cambios que puedan surgir a lo largo del proyecto el término “ágil” aplicado al desarrollo de software (Boehm, 2004). En este sentido, para el proceso de desarrollo de este proyecto se centra en el uso de la metodología SCRUM, que es un enfoque simple y directo para gestionar el proceso de desarrollo de software basado en la suposición de que el medio ambiente (es decir, personas) y tecnologías (es decir, las variables técnicas) son propensos a cambiar durante el proceso (Schwaber, 2004).

SCRUM, concreta un proceso empírico, iterativo e incremental de desarrollo que pretende obtener ventajas en relación a los procesos definidos mediante la aceptación de la naturaleza caótica del desarrollo de software y la utilización de prácticas tendientes a manejar la impredecibilidad y el riesgo a niveles aceptables. Al principio del proyecto se define el Project Backlog que contiene todos los requerimientos funcionales y no funcionales que deberá satisfacer el sistema a construir, estos son especificados mediante casos de uso, diagramas de secuencia, diagramas de estados, entre otros. Los cuales se definen en conjunto con los stakeholders (son todas aquellas personas que tienen deseos, necesidades y/o requerimientos sobre el proyecto) y a partir de estos se definen los sprints (corresponde al proceso de desarrollo mediante iteraciones de cada uno de los requerimientos del sistema) en los que se irá evolucionando la aplicación evolutivamente, cada sprint tiene su propio sprint backlog que será un subconjunto del product backlog con los requerimientos a ser construidos en el sprint correspondiente. Los roles definidos en esta metodología de desarrollo incluyen los siguientes (Deemer, Benefield, Larman, & Vodde, 2012):

- **Product Owner:** Representa la parte del cliente, y es el encargado de negociar con el equipo la prioridad del trabajo a realizar. En conjunto con el Scrum Master actúan como facilitadores del proceso.
- **Scrum Master:** Corresponde al líder de proyecto llevara la gestión de la iteración convocando diariamente al Scrum Daily Meeting que representa una reunión de avance de no más de 15 minutos con el propósito de tener retroalimentación sobre las tareas de los recursos y los obstáculos que se presentan, al final de cada sprint se presenta un Sprint Review para evaluar los artefactos construidos y comentar el planteamiento del próximo Sprint.
- **Team Develop:** Está compuesto por los miembros del equipo cuya labor principal es la ejecución de las tareas de desarrollo.
- **Stakeholder:** Son todas aquellas personas que tienen deseos, necesidades y/o requerimientos sobre el proyecto.

Las ventajas del uso de esta metodología son:

- Evita el estancamiento del proyecto.
- Seguimiento del proyecto para ir controlando el avance.
- Seguimiento del equipo que permite ajustar los desfases y fortalecer las habilidades de cada una de las personas que lo conforman.
- Al final se obtiene un Software que incrementa su funcionalidad con cada Sprint
- Se tienen mecanismos de control para las variables cambiantes con el entorno.
- Progreso en el producto con requerimientos inestables.
- Aumenta la comunicación con el equipo y el cliente obtiene feedback frecuente sobre el producto.

Esta metodología permitió definir los requerimientos del proyecto, su proceso de desarrollo mediante iteraciones en los que evolucionó la aplicación luego de definir la

90

arquitectura hardware con su diseño para ensamblar el robot que contiene el contador Geiger, que detecta radiaciones ionizantes en tiempo real, a diferentes alturas.

4.1.4 Metodología para la evaluación experimental

La calidad del software es un *“proceso eficaz de software que se aplica de manera que crea un producto útil que proporciona valor medible a quienes lo producen y a quienes lo utilizan”* (Pressman, 2010, p. 340). Esto quiere decir que, un proceso eficaz de software instituye la infraestructura que da soporte a cualquier esfuerzo de elaboración de un producto de software de alta calidad; en cuanto a un producto útil entrega contenido, funciones y características que el usuario final requiere (de forma confiable y sin errores); al agregar valor para el productor y para el usuario de un producto, proporciona beneficios porque el software de alta calidad requiere un menor esfuerzo de mantenimiento, menos errores que corregir y poca asistencia al cliente. Los métodos organizacionales e industriales se soportan en sistemas software que demandan de un amplio conocimiento de su arquitectura e implementación para garantizar su evolución a la hora de realizar mantenimiento (Bennett & Rajlich, 2000; Platenius, Von Detten, & Becker, 2012).

Es importante diferenciar entre la calidad del producto software y la calidad del proceso de desarrollo de éste (calidad de diseño y fabricación). Sin embargo, las finalidades determinadas para la calidad del producto ayudan a establecer los objetivos del proceso de desarrollo, ya que son directamente proporcionales, la calidad del primero depende de su proceso de desarrollo, es casi imposible lograr un buen producto de software sin este. En este sentido, La metodología DESMET, es la consecuencia de un proyecto colaborativo desarrollado en la década de los 90 en el Reino Unido. La prioridad de esta metodología es ayudar a una organización durante un proyecto de evaluación de software, define los siguientes pasos: definición del alcance del proceso, selección del método de evaluación, definición de los roles y las responsabilidades de los vinculados al proceso, definir

supuestos y restricciones, definir los tiempos y esfuerzos del proceso, analizar e interpretar los resultados para finalmente presentarlos a los decisores (Morera, 2002), para este proyecto permitió planificar y ejecutar un proceso de evaluación con el fin de encontrar el método o herramienta más adecuada para su desarrollo de software (Kitchenham et al., 1997). Concretamente, las actividades a seguir para la evaluación son las siguientes:

Establecer roles y responsabilidades: son las personas que realizaron búsquedas, pruebas y sin duda trabajar con los componentes.

Establecer escala de tiempo y esfuerzo: determinar la escala de tiempo de todo el proceso y el esfuerzo que llevó realizar la evaluación. Parte de la información de la planificación (que puede ser modificada) cuenta con: tareas realizadas, hitos, fecha de vencimiento, personal involucrado, esfuerzo requerido e informes finales.

Definir supuestos y el alcance: concretar el dominio específico que tendrá que cubrir el sistema con sus características requeridas. Definir los supuestos ayudará a predecir futuros inconvenientes de la solución elegida, pensando en: presupuesto limitado asignado, infraestructura necesaria y el apoyo, formación necesaria, entorno necesario para la validación, versión de prueba disponibilidad, temas de propiedad intelectual, entre otros.

Seleccionar un método de evaluación: de acuerdo con la metodología DESMET se pueden elegir entre tres diferentes tipos de evaluación, estos tipos de evaluación son:

- Cuantitativa: Medir los beneficios del uso del sistema de una manera cuantitativa.
- Cualitativa: Evaluar rasgos y características del sistema.

- Híbrido: Este tipo de evaluación es una combinación de los dos, cuantitativa y cualitativa.

El tipo de evaluación para validar el sistema se realizó de forma cuantitativa.

Evaluar y presentar los resultados: por último, al llevar a cabo la evaluación a través de la escala de tiempo, papeles, el esfuerzo y el tipo de evaluación de los pasos anteriores, como resultado principal de esta tarea se un informe para el análisis en la toma de decisiones del sistema. Los números sólo ayudan a desglosar fácilmente y seleccionar los mejores resultados validados, sin embargo, no se puede basar decisiones finales sólo en números, sino en la discusión conjunta de los resultados obtenidos para la mejor selección.

4.1.5 Alcance de la investigación

Diseñar e implementar un sistema inteligente que haga posible captar varios tipos de radiaciones ionizantes, presentes en el medio objeto de estudio, lo cual a su vez permita cuantificar las dosis absorbidas por las personas, cada vez que se exponen al sol, dentro de un tipo de investigación que está enmarcado dentro de un tipo de investigación cuantitativa, cuyo alcance se encuentra definido en el aspecto correlacional. Para ello se eligió 1 (una) ciudad del litoral Caribe Colombiano, cubriendo en cada una de ellas un área superficial de 3 Km².

4.2 Diseño

Este trabajo está enmarcado dentro de un tipo de investigación cuantitativa, cuyo alcance se encuentra definido en el aspecto correlacional. Las variables de correlación en este trabajo permitirán inferir la información suficiente y necesaria en el proceso de medición de la dosis de radiación absorbida por los habitantes del litoral Caribe

Colombiano, cuando estos se exponen a la radiación solar. En la siguiente tabla, se presenta el diseño empleado como estrategia concebida para lograr la información demandada para responder al problema científico planteado.

Tabla 4. Ficha técnica de la metodología

Unidad de análisis	Dosimetría ambiental de las radiaciones ionizantes.
Ámbito geográfico	Litoral Caribe Colombiano (1 ciudad de los departamentos constitutivos).
Tipo de muestra	Experimental.
Muestra	En la ciudad donde se hará el muestreo, abarca un área total de 3.141 Km ² y una población de 460.223 habitantes. De las cuales se tomarán puntos estratégicos seleccionados de acuerdo a la concentración de personas permanentes.
Fuentes de información	Interna: informes y estudios internos, archivos de centros radioncológicos, páginas web, revistas nacionales, proceedings. Externa: publicaciones de revistas especializadas, proceedings, informes de organismos internacionales, memorias de eventos científicos.
Métodos de recogida de la evidencia	Revisión documental, mediciones directas en campo.

4.3 Hipótesis de la investigación

Se estudian las siguientes hipótesis de trabajo:

Ha1 = Es posible el funcionamiento de un sistema utilizando medidores que permita cuantificar la dosis absorbida de radiación ionizante para la prevención de sus efectos para los habitantes del litoral Caribe Colombiano.

H01 = No es posible que el funcionamiento de un sistema utilizando medidores, permita cuantificar la dosis absorbida de radiación ionizante para la prevención de sus efectos para los habitantes del litoral Caribe Colombiano.

Ha2 = Mediante el uso de medidores de temperatura, humedad, presión, radiación ultravioleta y Geiger, se podrá cuantificar la dosis de radiación ionizante natural para la población del litoral Caribe Colombiano.

H02 = No es posible que, mediante el uso de medidores de temperatura, humedad, presión, radiación ultravioleta y Geiger, se podrá cuantificar la dosis de radiación ionizante natural para la población del litoral Caribe Colombiano.

4.4 Población y muestra

Se tiene un investigador y 4 auxiliares de investigación, encargados de ayudar recolectar datos en los diferentes puntos de la ciudad de Montería. Montería es un municipio colombiano, capital del departamento de Córdoba. Está ubicado al noroccidente del país en la región Caribe Colombiana, se encuentra a orillas del río Sinú, se localiza en las coordenadas 8°45'35"N 75°53'08"O. Posee un área de 3.141 km² y una población de 460.223 habitantes. El clima de la ciudad es tropical de sabana o tropical seco, es un subtipo de clima tropical que se produce cuando la estación seca de este clima se acentúa y predomina la mayor parte del año, siendo la estación húmeda muy corta, pero con lluvias torrenciales. Es un clima de transición entre el tropical húmedo y el clima desértico. Es muy caluroso durante todo el año, aunque presenta una mayor oscilación térmica que el tropical húmedo.

Para la selección de las diferentes áreas en la ciudad correspondientes a este estudio se utilizó el método de muestreo aleatorio estratificado con afijación proporcional (Ruiz Peláez & Rodríguez Malagón, 2015), expresado en la ecuación 1, con una confiabilidad del 90%.

$$n_i = \frac{\sum W_h P_h Q_h}{\frac{E^2}{Z^2}} \quad ; \quad n = \frac{n_i}{1 + \frac{n_i}{N}} \quad (1)$$

Donde:

Wh: Proporción del área de la ciudad de Montería.

Ph =0.5 (probabilidad de que cumpla la condición de estudio - exposición directa al sol)

Qh= 0.5 (probabilidad de poca exposición solar - en la sombra).

E = 0.098 (error de muestreo)

Z = 1.65 (percentil de confiabilidad de la muestra de estudio).

N: Número total de puntos seleccionados en la ciudad.

ni = Muestra para población finita

n = Muestra ajustada a la población seleccionada.

Los resultados obtenidos a partir de la ecuación 1 es de 3 Km², para ello se eligieron muestras dos puntos de la ciudad de Montería, una en un punto del área urbana y otro en área rural. La selección de la ciudad de Montería para este estudio obedece a que está entre una de las ciudades más insoladas del país y por ende donde se encuentra el mayor número de personas afectas por la exposición de dicha radiación.

4.5 Variables

Las variables a tener en cuenta en esta investigación son listadas a continuación.

Dentro de las no controladas se encuentran la temperatura, Presión y tasa de exposición (X/t). También se contó con un grupo de variables que son controladas tales como: altura, proximidad, longitud y latitud. Cabe anotar que todas las variables fueron analizadas bajo los algoritmos desarrollados para ello.

4.6 Métodos e Instrumentos de investigación

Se utilizó el entorno multiplataforma de código abierto NodeJS, basado en el lenguaje de programación ECMAScript, en una arquitectura orientada a eventos y el motor V8 de Chrome, en este se utilizará el Framework Jhonny Five un marco de programación para robótica en JavaScript compatible con las placas reducidas (SBC) Raspberry Pi y Particle.io, para la adquisición, control de los datos y automatización de vuelo del dron, además del uso de HTML 5 y CSS3 para las interfaces que interactúan con los usuarios finales. Los algoritmos de medición de temperatura, presión, humedad, UV y Geiger se desarrollaron y ejecutaron bajo esta plataforma, utilizando electrónica digital a través de los medidores que correspondan para cada variable seleccionada para tal fin, entre ellos:

Contador Geiger - modelo: NGMC-V1: este Detector de Radiación Nuclear DIY Kit. kit Arduino compatible. puede conducir M4011, STS-5, SBM20 o J305 tubos Geiger en el PCB, tiene tensión compatibilidad con todos los populares Tubos GM que requiere ánodo voltaje 350-500 V.

Medidor de humedad y temperatura – modelo: DHT11: Está constituido por dos medidores resistivos (NTC y humedad). Tiene una excelente calidad y una respuesta rápida en las medidas. Puede medir la humedad entre el rango 20% – aprox. 95% y la temperatura entre el rango 0°C – 50°C.

Medidor ultravioleta – Grove UV: referencia 101020043: se utiliza para detectar el índice de intensidad ultravioleta (UV), es un instrumento de precisión que detecta longitudes de onda de 240 y 370nm

GPS NEO 6MV2 UBLOX: receptor GPS ideal para vehículos autónomos como aeromodelismo, queadcopters, helicópteros, robots móviles, así como para realizar control de vuelo o control de recorridos.

Medidor de presión y altitud LPS331AP: es capaz de leer presión barométrica (absoluta) y temperatura. Por medio de cálculos matemáticos es capaz de detectar diferencias de alturas.

4.7 Análisis de datos

Los datos fueron analizados utilizando estadística descriptiva como: la media aritmética expresada en la ecuación 2 (Rondero & Font, 2015).

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} \quad (2)$$

Además, se hará uso de un modelo matemático que permita calcular las variables de tasa de exposición y equivalente de dosis absorbida, tal como las muestra las ecuaciones 3 y 4, respectivamente (Attix, 2004).

$$\text{Exposición} = X = \frac{\Delta Q}{\Delta m} ; \text{Tasa de Exposición} = X = \frac{\Delta X}{\Delta t} \quad (3)$$

$$H = D Q \quad (4)$$

En donde ΔQ es la suma de todas las cargas eléctricas de los iones de un signo producidos en aire, cuando todos los electrones liberados por fotones en un elemento de volumen de aire, cuya masa es ΔM , son completamente detenidos en aire. ΔX es el incremento de exposición durante el intervalo de tiempo Δt . D es la dosis equivalente y Q el factor de calidad.

Capítulo 5. Desarrollo y Experimentación

5.1 Desarrollo

En el presente capítulo se expone el sistema de medición de radiaciones ionizantes propuesto, explicando su funcionamiento y características principales. Diseñar e implementar un sistema inteligente que haga posible realizar las mediciones, requiere de ciertas características que necesitan ser consideradas a la hora de realizar las mediciones para tales efectos: precisión, condiciones ambientales (existen límites de temperatura/humedad), alcance (límite de medición del sensor o medidor), calibración (esencial para la mayoría de los dispositivos de medición, una vez que las lecturas cambian con el tiempo), poder de decisión (mayor incremento detectado por el medidor), costo, repetición (la lectura que varía es repetidamente medida dentro del mismo ambiente) (Fundación Telefónica, 2011). El diagrama de bloques del sistema se presenta en la figura 30.

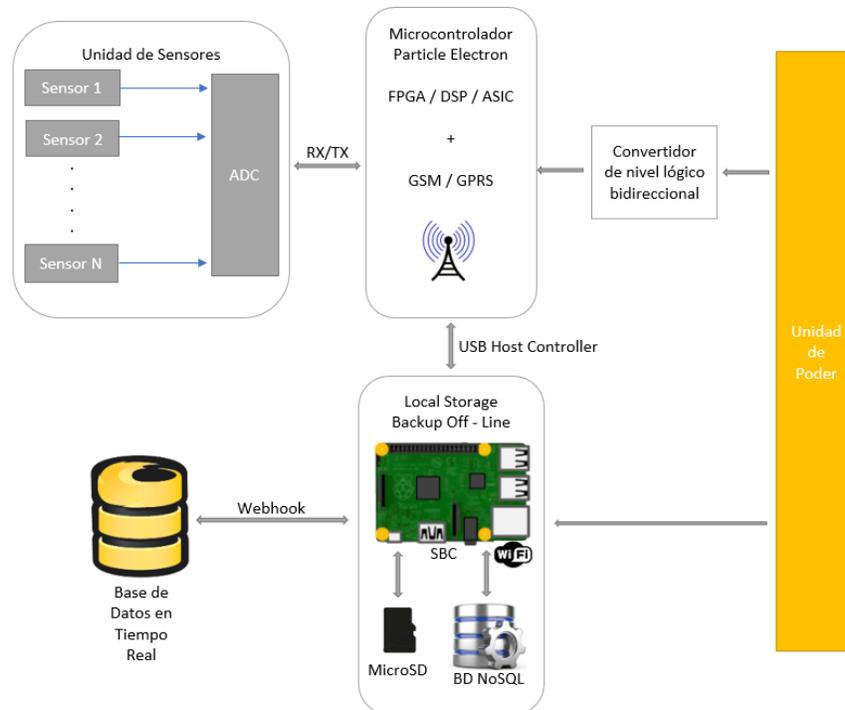


Figura 30. Diagrama de Bloques del Dispositivo Medidor de radiación ionizante.

El dispositivo cuenta con el medidor Geiger Müller o contador Geiger Müller modelo NGMC-V1 en la figura 16 (TOISAD, 2012), tiene indicación visual y sonora de la radiación y puede ser utilizado como detector de peligrosos niveles de radiación o materiales radiactivos en su entorno. La unidad de medida del medidor Geiger con el cual se cuantificó la radiación ionizante es básicamente la cantidad de pulsos generados (estos pulsos no corresponden a un valor de energía, sino al número de pulsos por desintegración radioactiva detectados); esto significa que en un segundo tendremos "n" conteos (conteos por segundo - CPS) y en 1 minuto los conteos por minuto (CPM). Para obtener la energía real irradiada y la cantidad que es absorbida por un cuerpo, se necesita conocer cuántos Sievert por hora están produciendo estos pulsos. La fórmula que pasa de CPM a Sieverts se obtiene de la ecuación 5 (Wright State University, s/f), pero el resultado de la misma depende principalmente del tubo Geiger: el tamaño, la forma, el material, la sensibilidad, el tiempo muerto, el tipo de partícula medida, entre otros.

$$\text{CPM} * \text{Factor de conversión} = \mu\text{Sv} / \text{h} \quad (5)$$

En este trabajo se utilizó el tubo J305B, que entre sus características para detección cuenta con: cátodo de óxido de estaño, estructura coaxial cilíndrica (pared densidad 50 ± 10 cg/cm²), aplicación de pulso tipo tubo halógeno, temperatura de aplicación: $-40^{\circ}\text{C} \sim 55^{\circ}\text{C}$, voltaje de funcionamiento: 380-450 V, corriente de trabajo: 0,015-0,02 mA, sensibilidad a la radiación Gamma: 0.1 MeV, propio Fondo: 0,2 Pulsos/s (Electronics, 2013). El factor de conversión (CF) para el tubo Geiger J305B es 0.008120 (Abuqubu, 2016); este factor es utilizado para calcular los Sievert por hora irradiados y que es utilizado como se referencia en la ecuación 5.

La arquitectura de comunicación del sistema está compuesta por un listener o servicio instalado en el sistema operativo configurado en la SBC Raspberry PI 3 (Poza Luján, 2012; Torres Pardo, 2017). Este servicio tiene como función principal recibir la información enviada por el microcontrolador Particle Electron, basado en una configuración donde se asigna cada dispositivo a una línea específica de transmisión para posteriormente almacenar la información obtenida de los medidores por medio de Message Broker (Albano, Ferreira, Pinho, & Alkhawaja, 2015; Chang, 2006; John & Liu, 2017), que es un programa intermediario que traduce los mensajes del sistema desde un lenguaje a otro en la estructura creada en el Sistema de Gestión de Bases de Datos (SGBD) NoSQL Redis (Carlson, 2013; Da Silva & Lopes Tavares, 2015; Macedo & Oliveira, 2011). Esta información a través de una transacción WATH que monitoriza la aplicación en tiempo real para el envío de información a un Cloud Service con Firebase, donde se encuentra hospedada y configurada la aplicación desarrollada, para capturar y almacenar los datos en una base de datos NoSQL para su procesamiento, brindar acceso y desplegar la aplicación desarrollada (A. Gupta, 2013).

El acceso a la información almacenada desde la capa de usuario, es por medio de solicitudes JSON y el protocolo OAuth. JSON es un formato basado en texto estándar para representar datos estructurados en la sintaxis de objetos de JavaScript (De León-Peña & Vargas-Lombardo, 2017). Por otra parte, el protocolo OAuth, es un protocolo de autorización estándar de la industria, se centra en la simplicidad del desarrollador del cliente al tiempo que proporciona flujos de autorización específicos para aplicaciones Web, aplicaciones de escritorio, teléfonos móviles y otros (Darwish & Ouda, 2015; Emerson, Choi, Hwang, Kim, & Kim, 2015), toda esta arquitectura descrita se puede apreciar en la figura 31.

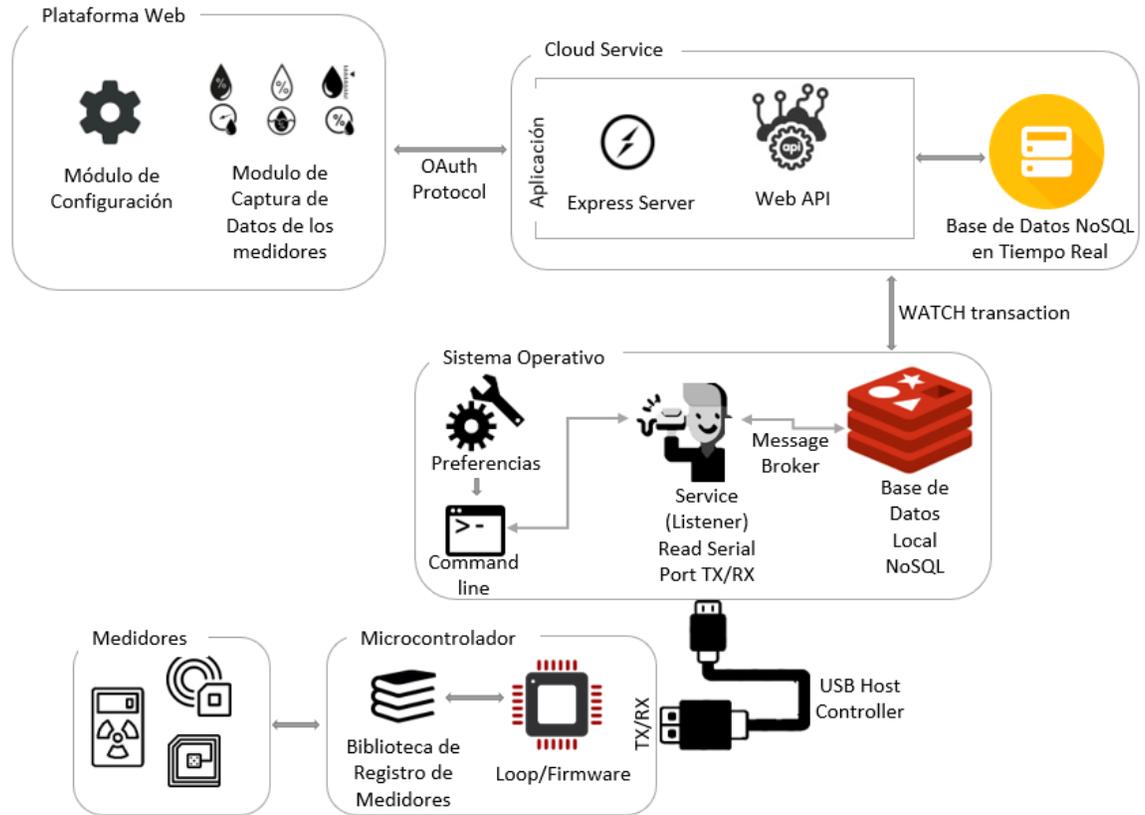


Figura 31. Arquitectura de Software y Comunicación.

En la figura 32 se representa todo el sistema integrado y conectado, en el Anexo D se presenta el código correspondiente a cada medidor:

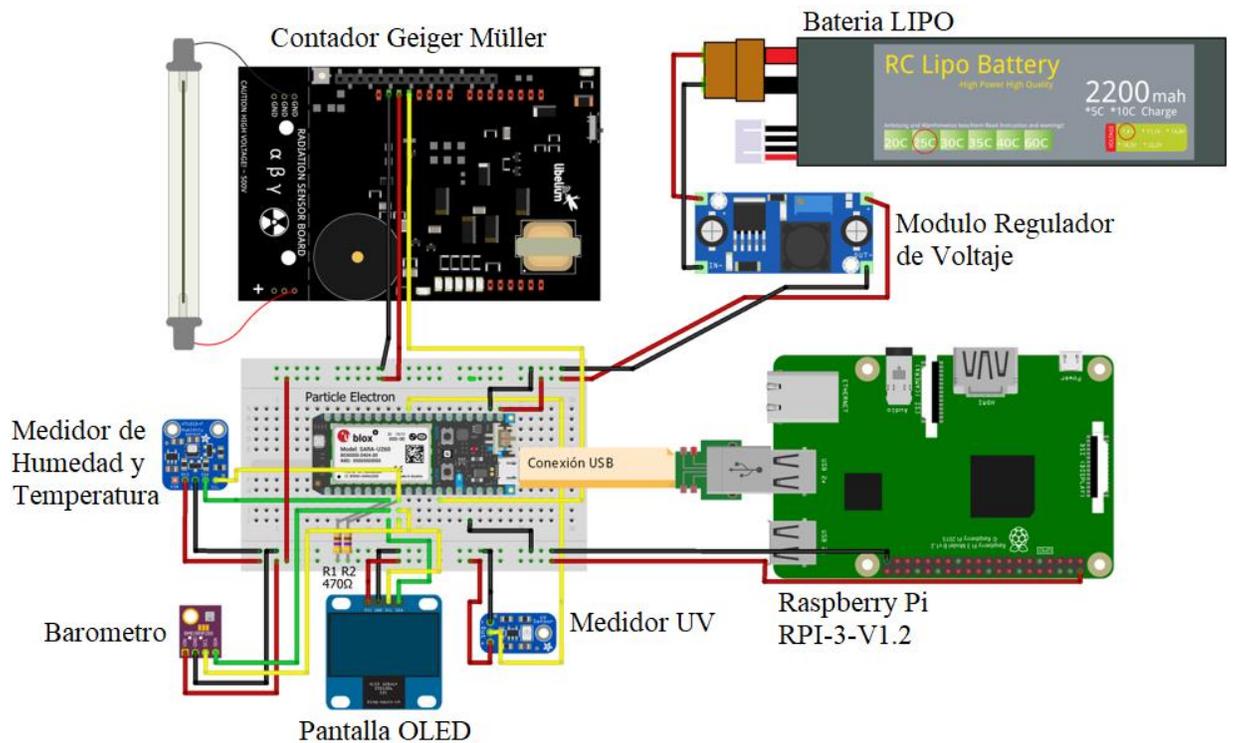


Figura 32. Microcontrolador Particle Electron, Raspberry Pi, medidor Geiger Müller, medidor UV, medidor Humedad/Temperatura, medidor barométrico conectados.

El código para captura de datos de los medidores esta implementado en lenguaje C procesado en el microcontrolador Particle Electron, se cuantifican datos de humedad, temperatura, presiones atmosféricas, los recuentos por minuto y la radiación equivalente medidos por el detector de GM. El funcionamiento general del algoritmo se aprecia en el siguiente diagrama de flujo en la figura 33.

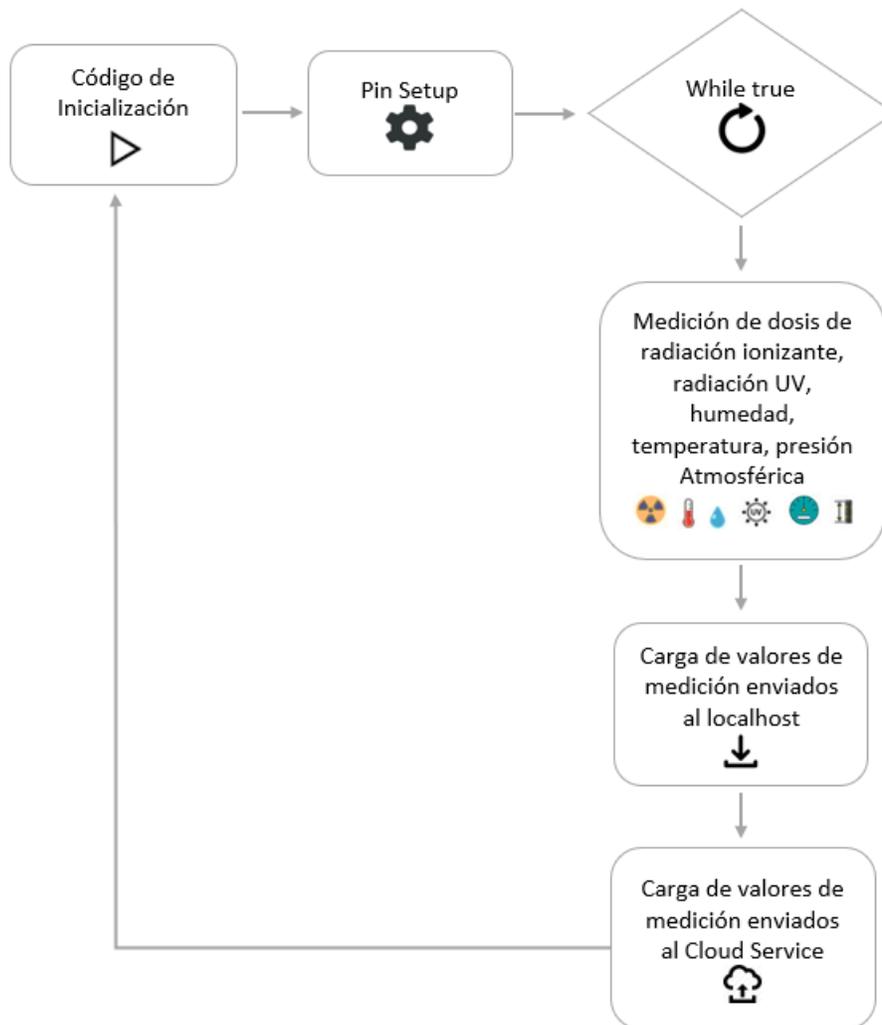


Figura 33. Diagrama de Flujo Algoritmo de Medición.

El dispositivo ensamblado en este trabajo puede ser adaptado a un dron hexacóptero, en este caso es utilizado el Frame Hexacóptero S550 (ver proceso de ensamblado en Anexo E), para optimizar un dron que pueda tomar las lecturas de radiación ionizante en zonas montañosas como se puede apreciar en la figura 34, donde también se puede apreciar la inclusión de un medidor Lidar Lite V3 para ayudar en la evasión de obstáculos (ver código en Anexo F – lenguaje de programación Python). En la figura 35 y 36 se aprecia una

cúpula de protección diseñada para el dispositivo de medición que se puede adaptar como una pieza adicional al frame (chasis) del hexacóptero para optimización del dron:



Figura 34. Dron Optimizado con Dispositivo de Medición de Radiación Ionizante.

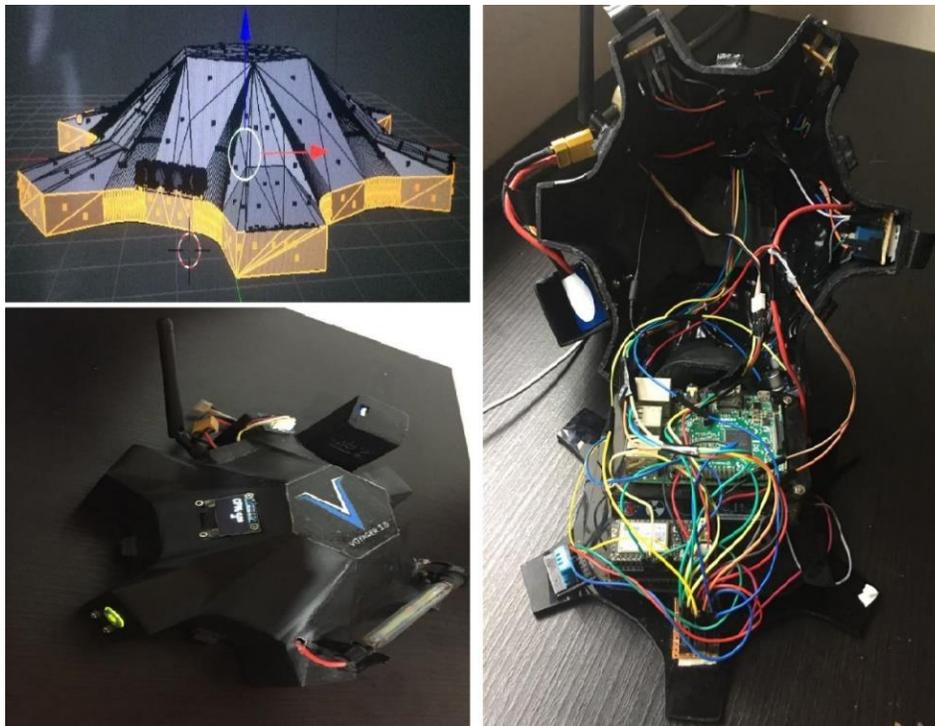


Figura 35. Cúpula de Protección Dispositivo de Medición Radiación Ionizante.



Figura 36. Dron Optimizado para Dosimetría Ambiental.

El hexacóptero utilizado en este trabajo cuenta con un LIDAR que gira a 360 grados para el mapeo exterior en tiempo real y el seguimiento de a través del GPS que utiliza el dron; esto es conocido como Simultaneous Localization and Mapping (SLAM), localización y mapeo simultáneos (Bi, Chen, Deng, & Wang, 2018; Ha et al., 2018; Kim, Chen, Kim, & Cho, 2018). En la figura 37 se presenta el diagrama de bloques del sistema SLAM con LIDAR Lite V.3 utilizando en este trabajo. La controladora de vuelo Pixhawk dispone de Unidad de Medición Inercial (IMU) que es un dispositivo electrónico cuyo objetivo es obtener mediciones de velocidad, rotación y fuerzas gravitacionales, usando una combinación de acelerómetros, giróscopos y a veces magnetómetros, el procesamiento de los datos y algoritmo de evasión de obstáculos es manejado desde una Raspberry Pi que envía los datos para replantear el vuelo del dron a través del protocolo de comunicaciones MavLink, se envían los mensajes en caso de existir obstáculos para hacer frente a todas las acciones de gestión y control tales como: respondiendo al transmisor telemando, regulación de la velocidad del motor, entre otras.

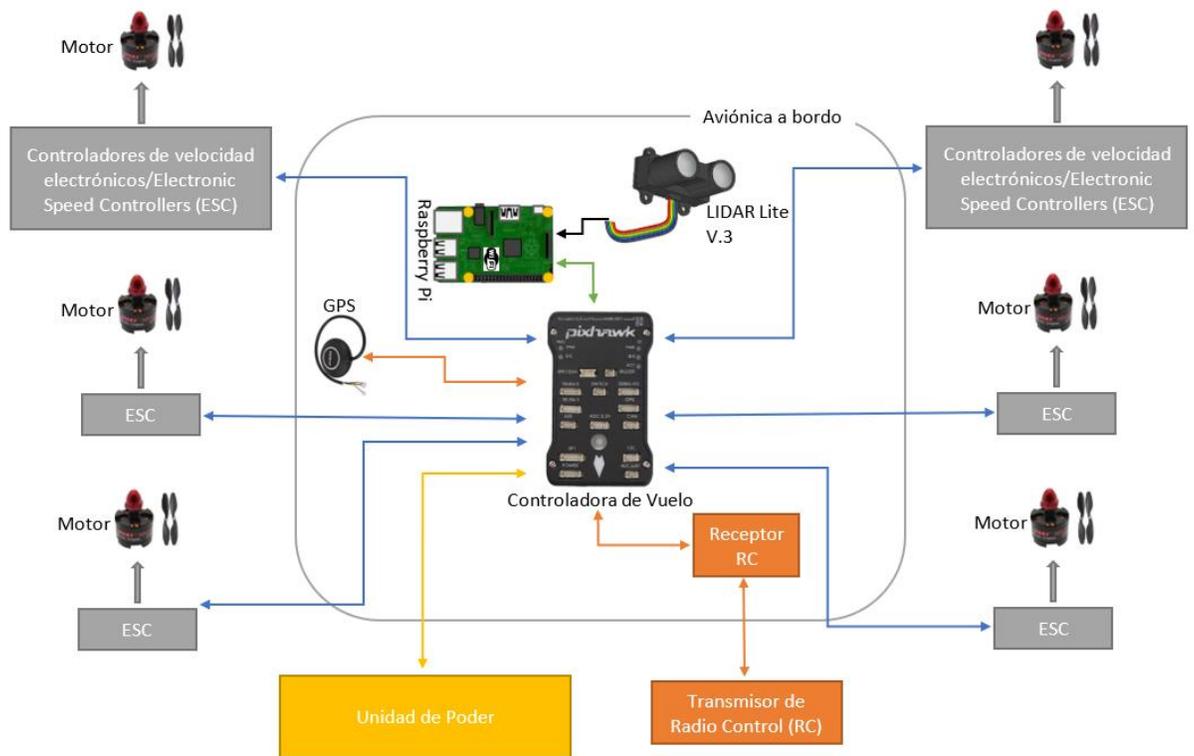


Figura 37. Diagrama de Bloques del UAV y la Tecnología LIDAR Lite V.3

En la figura 38 se representa todo el sistema integrado y conectado, mientras que en la figura 39 se muestra un diagrama de flujo del SLAM con LIDAR, puede apreciarse que hay dos controles, uno que mantiene al vehículo desplazándose hacia el frente, siempre que no haya algún obstáculo en la trayectoria del vehículo, y otro que lo hace retroceder en caso de que la detección de un obstáculo sea positiva; el vehículo retrocederá hasta que éste regrese al origen de coordenadas para así reiniciar nuevamente el vuelo hacia adelante.

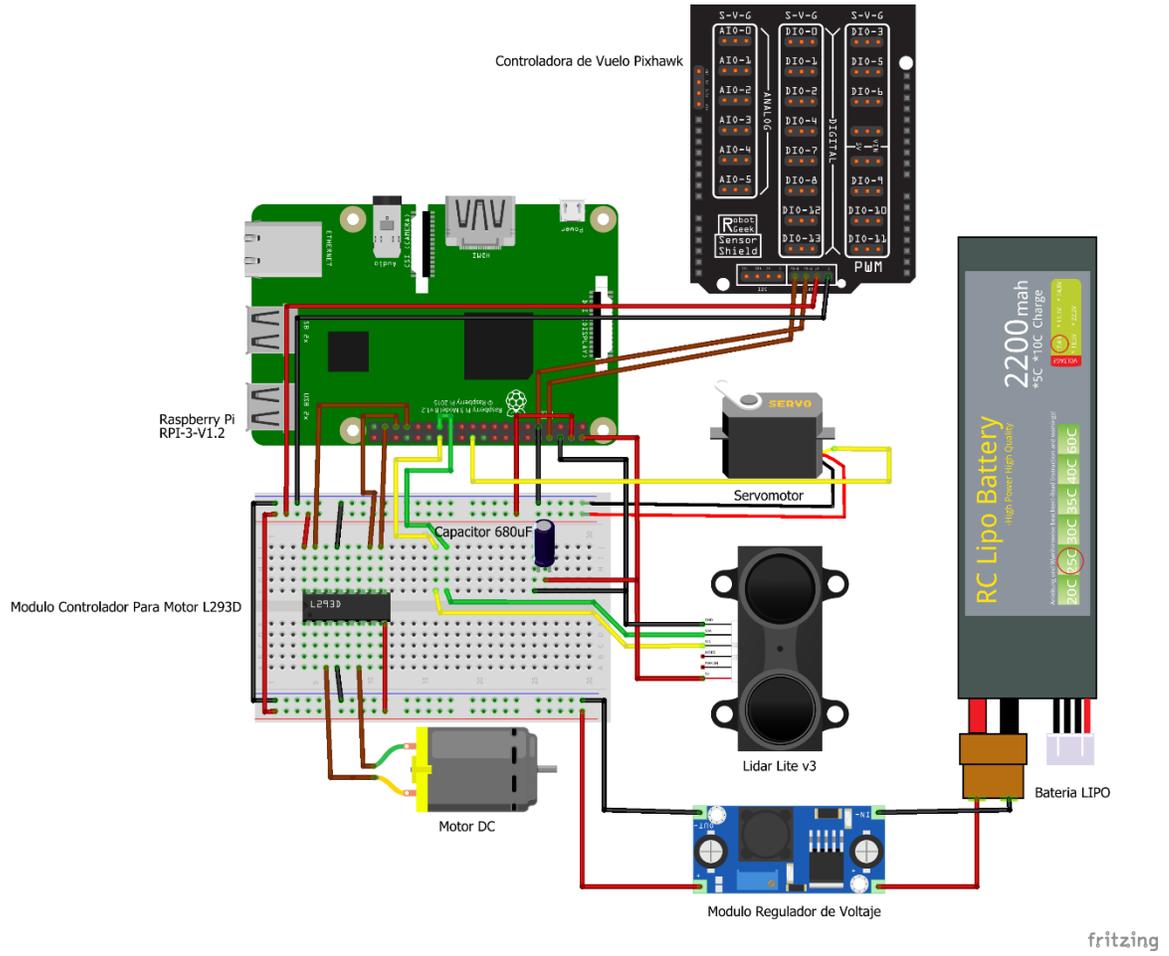


Figura 38. Controladora de Vuelo Pixhawk, LIDAR Lite V.3 y Servomotores para Rotación 360° Conectados.

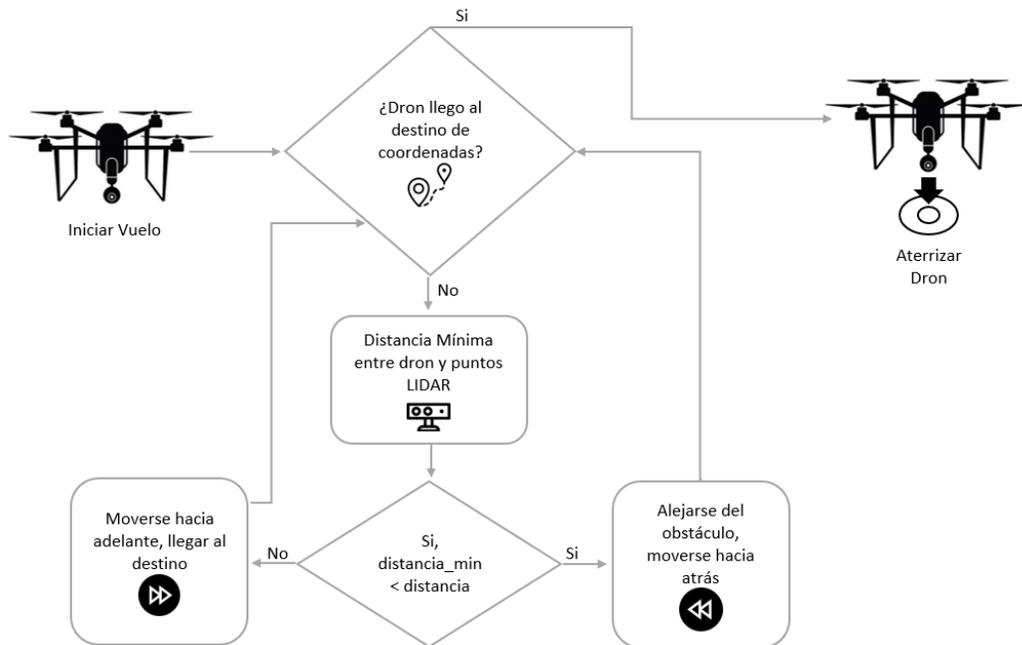


Figura 39. Diagrama de Flujo Algoritmo SLAM con LIDAR Lite V.3

La figura 40, muestra exploraciones de prueba con el sistema LIDAR. La brecha en la figura 40(A) revela la cobertura de la ubicación de dos obstáculos, mientras que la 40(B) la cobertura de un obstáculo en la trayectoria de vuelo de evasión proyectada. Es de aclarar que este proyecto solo implementa el algoritmo evasión de obstáculos, la información de los puntos tomados por el LIDAR no serán visualizados en la aplicación Web hibrida que muestra los datos de medición del dispositivo de dosimetría ambiental.

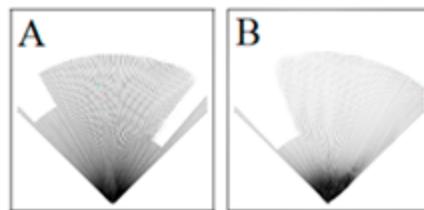


Figura 40. Proyección de Obstáculos con LIDAR.

Respecto al inicio de la App Web híbrida mencionada en el párrafo anterior, para poder visualizar los datos tomados por el dispositivo de medición de dosimetría ambiental, para monitorear en tiempo real los datos recolectados, es necesario iniciar esta aplicación apareciendo utilizando el formulario de acceso o Login que se presenta en la figura 41.

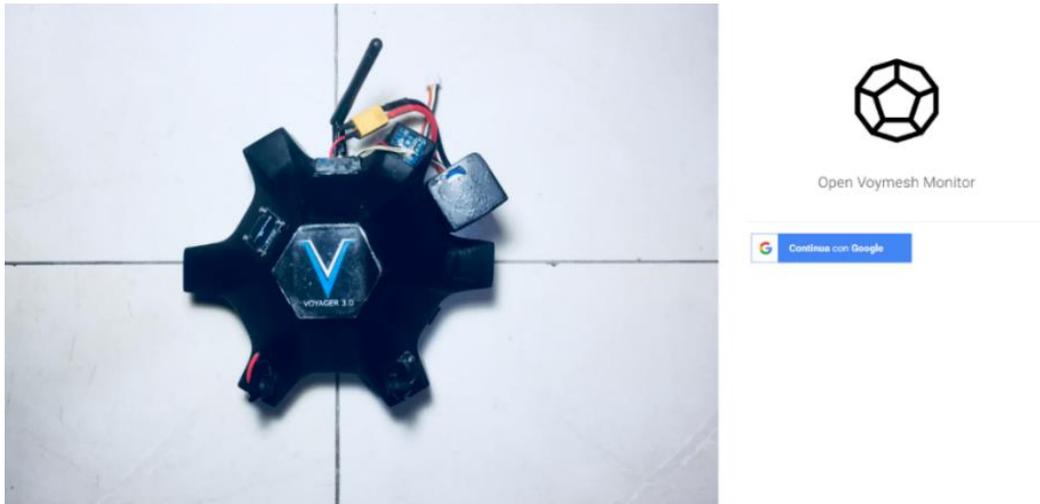


Figura 41. Pantalla de ingreso al sistema.

La figura 42 muestra la forma como los datos pueden ser monitoreados desde el dispositivo en ejecución (para requerimientos funcionales/no funcionales, diseño de casos de uso y definición de datos para esta Web App ver Anexos: A, B y C respectivamente).

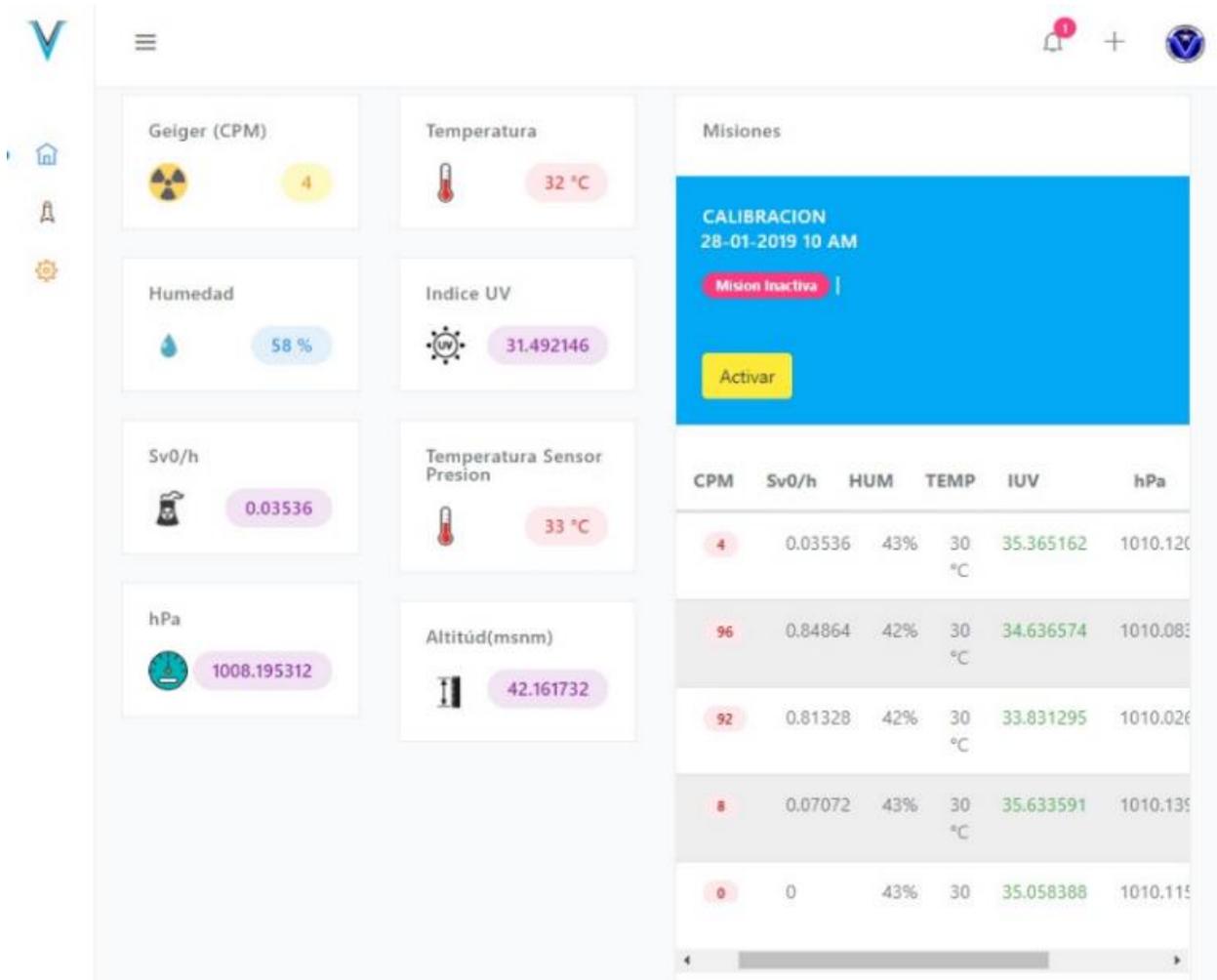


Figura 42. Pantalla de Monitorización de datos.

La figura 43 muestra la forma como los gráficos correspondientes a la toma de datos son presentados por la Web App híbrida de este trabajo, al tratarse de un dispositivo para dosimetría ambiental se presenta como aporte información como: la temperatura, la humedad y la presión del aire que se asocian con las condiciones de campo donde se toma la información de radiación ionizante y UV.

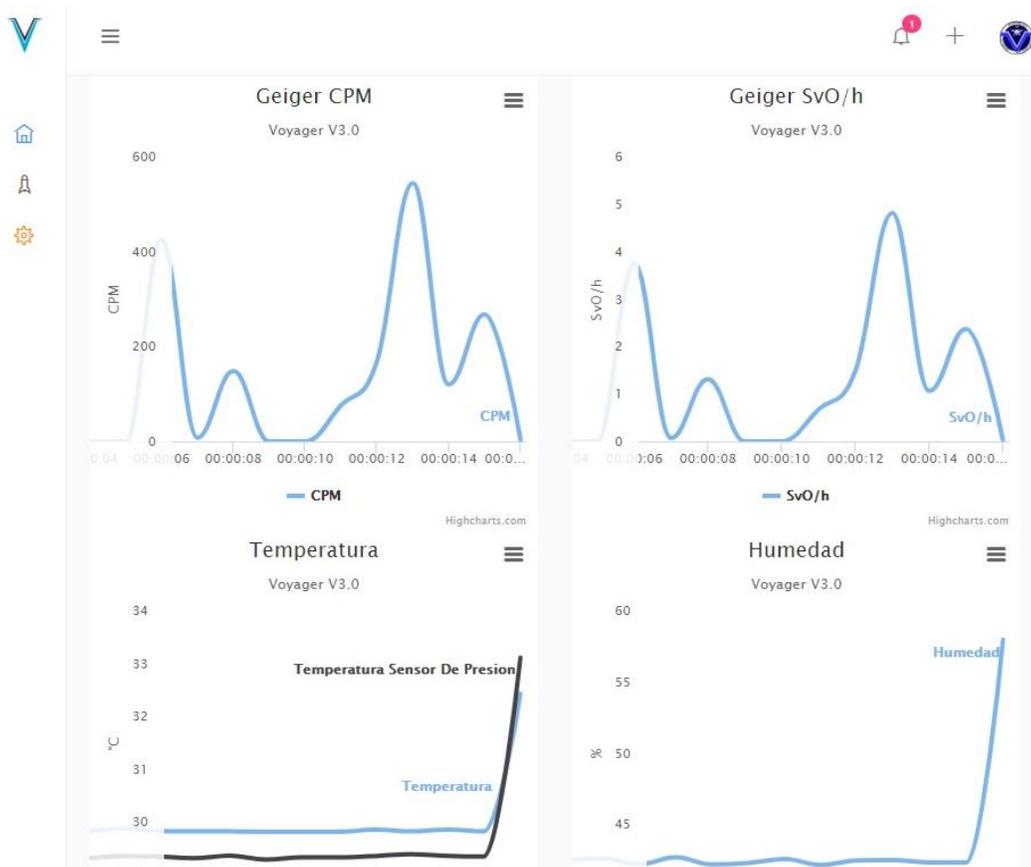


Figura 43. Pantalla de gráfico de captura de datos.

El funcionamiento general del sistema para monitorear los datos capturados por el dispositivo de medición de radiación ionizante en tiempo real, se presenta en el diagrama de flujo general del sistema de la figura 44; para ver el código fuente en Node.js de ejecución en el servidor ver el Anexo G.

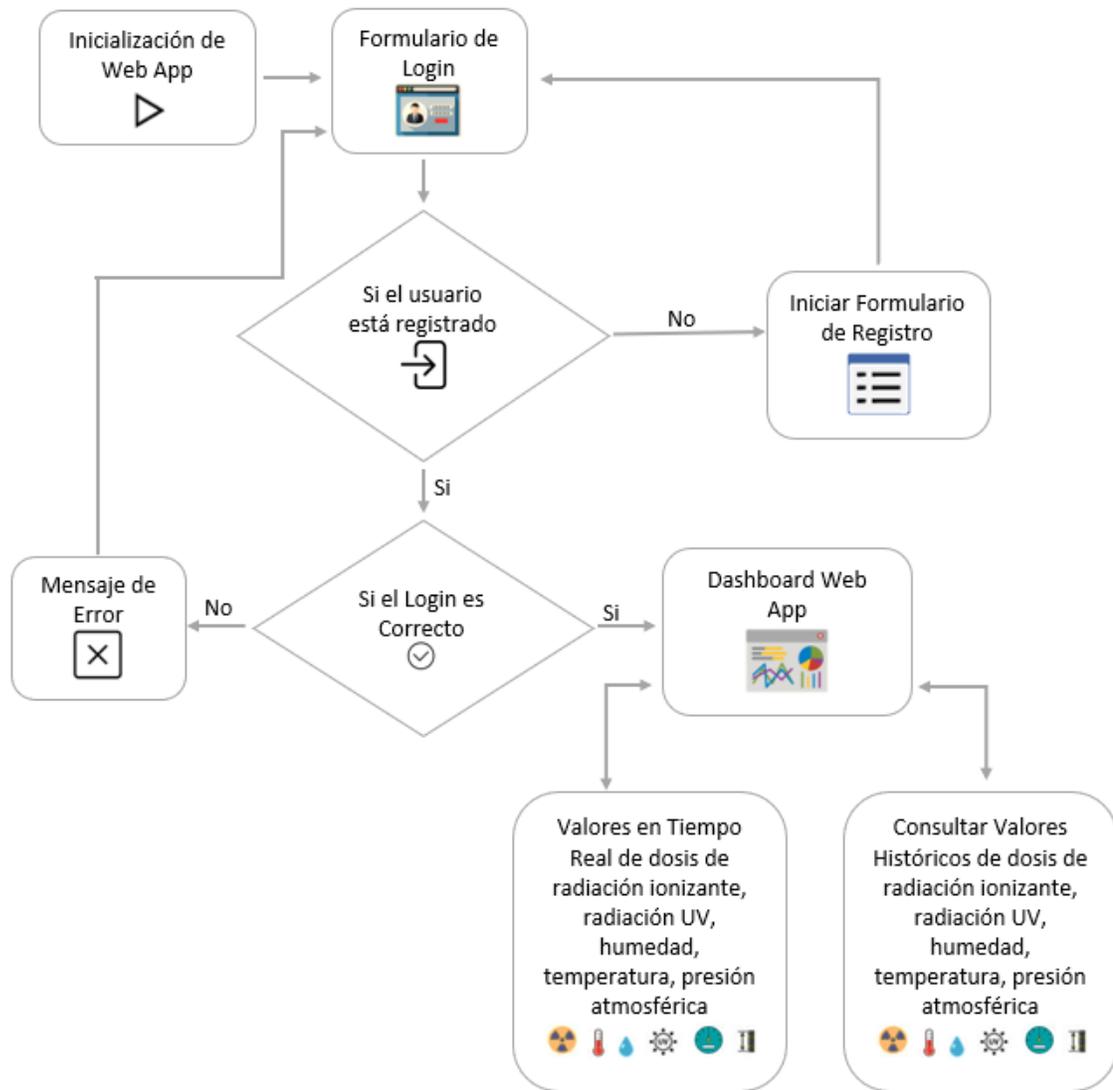


Figura 44. Diagrama de Flujo General de Funcionamiento de la Web App para Monitorear Datos en Tiempo Real.

5.2 Experimentación

A continuación, en la figura 45 se presenta la metodología para el proceso de validación de calibración del dispositivo de medición de radiación ionizante basado en IoT diseñado y ensamblado en este trabajo.

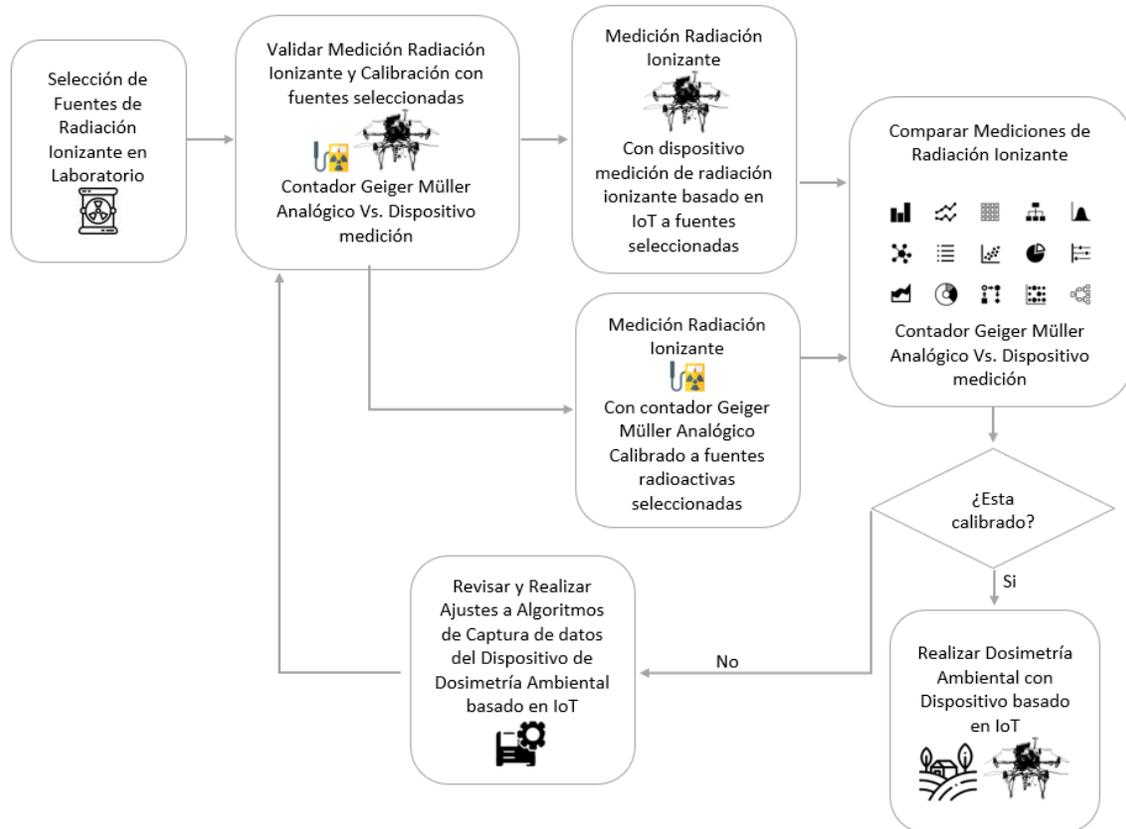


Figura 45. Metodología del Proceso de Validación Calibración Dispositivo de Medición de Radiación Ionizante Basado en IoT.

Se utilizó un procedimiento simple para validar los resultados del medidor realizado en este trabajo, utilizando para ello un contador Geiger analógico calibrado por el Servicio Geológico Colombiano (INGEOMINAS) fabricante LUDLUM serie No. 307891 modelo 14C, comparando los datos obtenidos por el contador digital utilizado en el dispositivo

ensamblado en este trabajo. La dificultad de validar el medidor es debido a las variables del entorno, la respuesta del tubo de GM puede variar +/- 20%. La fuerza de la fuente de radioisótopo no calibrado puede variar +/- 20% de su valor nominal. Además de la variación en los componentes electrónicos, todos estos factores afectan a la precisión.

Se utilizaron tres tipos de fuentes diferentes, descritas a continuación: inicialmente se experimentó con Electrodos de Tungsteno Toriado manejados en la soldadura TIG, que es una soldadura de arco con electrodo de tungsteno y con protección de gas inerte. Se puede encontrar de esa manera, amarillo representa la presencia de 0,9% a 1,2% de dicho elemento radiactivo, rojo de 1,8% a 2,2% de torio, púrpura entre 2,8% y 3,2% de torio y anaranjado desde 3,8% a 4,2% del elemento. Es importante resaltar que esos electrodos son los que se utilizan para soldar aluminio y aceros inoxidable (Jefuss, 2009), este experimento incluye una prueba de distancia que permiten corroborar el comportamiento donde al aumentar la distancia a la fuente, la dosis disminuye de manera inversamente proporcional al cuadrado de la distancia (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo, 1991, 2003). En la tabla 5 y figura 46 se aprecian los valores obtenidos con medidor analógico y el dispositivo de este trabajo, que se colocaron individualmente, a distancias de 10 cm a 1 m.

Tabla 5. Resultados procedimiento de validación para exposición de Torio al 2%.

Distancia	CPM Lectura Análoga	µSv Lectura Análoga	Dosis Acumulada Análogo	CPM Lectura Digital	µSv Lectura Digital	Dosis Acumulada Digital
10 cm	65	0,5	0,5	61	0,495	0,495
20 cm	40	0,32	0,82	39	0,3136	0,8086
30 cm	25	0,2	1,02	26	0,21	1,0186
40 cm	15	0,1	1,12	15	0,12	1,1386
50 cm	9	0,07	1,19	7	0,06	1,1986
60 cm	5	0,04	1,23	5	0,041	1,2396

70 cm	4	0,03	1,26	4	0,031	1,2706
80 cm	3	0,02	1,28	2	0,02	1,2906
90 cm	2	0,01	1,29	1	0,00999	1,30059
100 cm	2	0,01	1,3	1	0,00624	1,30683

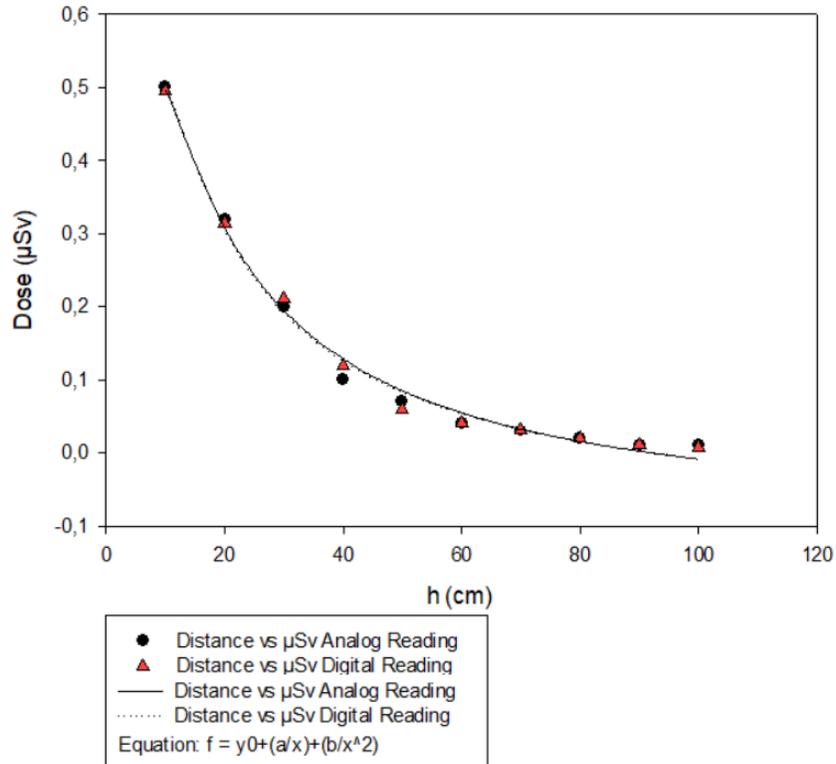


Figura 46. Resultados medición de Torio a 2%.

Para la segunda prueba de validación se utilizó una fuente de Co-57 cuya actividad es 5.04 mCi, presentados sus resultados en la tabla 6 y figura 47.

Tabla 6. Resultados procedimiento de validación para núclido radioactivo Co-57.

Distancia	CPM Lectura Análoga	μSv Lectura Análoga	Dosis Acumulada Análogo	CPM Lectura Digital	μSv Lectura Digital	Dosis Acumulada Digital
10	5700	50	50	5200	45,967	45,967
20	1700	15	65	1940	17,149	63,116
30	910	8	73	1076	9,511	72,627
40	570	5	78	528	4,667	77,294
50	340	3	81	404	3,571	80,865
60	290	2,5	83,5	280	2,475	83,34
70	145	1,25	84,75	184	1,626	84,966
80	115	1	85,75	144	1,272	86,238
90	60	0,5	86,25	108	0,954	87,192
100	60	0,5	86,75	88	0,777	87,969

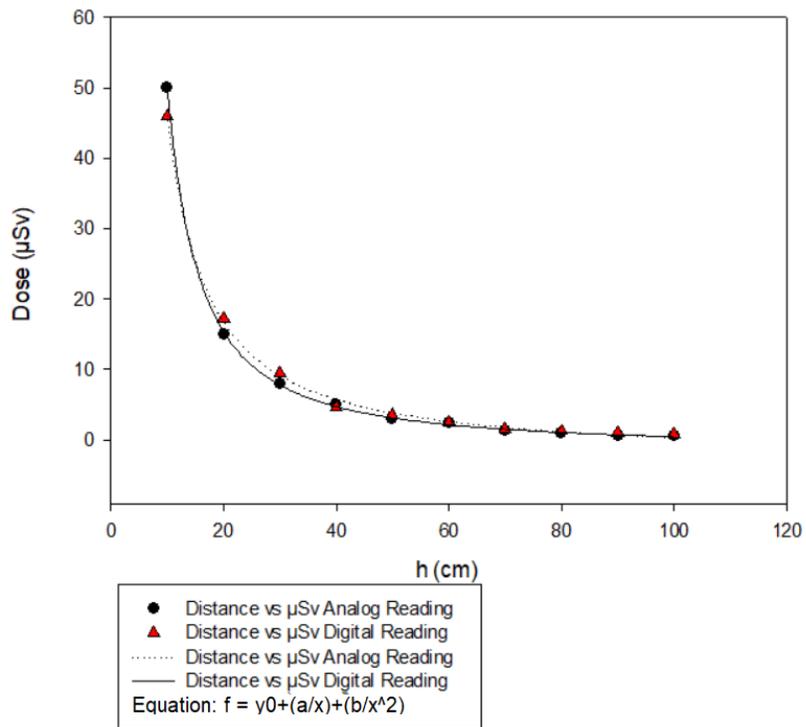


Figura 47. Resultados de medición de Co-57.

Se puede evidenciar que efectivamente si se aumenta el doble la distancia, la dosis recibida disminuirá (figuras 46 y 47), por ello para efectos de protección radiológica es recomendable la utilización de dispositivos o mandos a distancia en aquellos casos en que sea posible, la utilización del dron optimizado en este proyecto será de importancia donde la incidencia de la fuente sea muy alta, o genere riesgos a los operarios que realicen las mediciones o para zonas de difícil acceso.

Por último, se realizó experimento con 694 uCi de Tecnecio (Tc) – 99m (la “m” indica que es un isómero nuclear metaestable, el término se refiere al hecho de que estos estados excitados tienen una vida media de más de 100 a 1000 veces; su isómero nuclear $^{99m}_{43}\text{Tc}$, emisor de rayos gamma, el valor de la radiación aproximado se da en la tabla 7 a continuación:

Tabla 7. Resultados procedimiento de validación Tc - 99.

CPM Lectura Análoga	$\mu\text{Sv/h}$ Lectura Análoga	Dosis Acumulada Lectura Análoga	CPM J305B	$\mu\text{Sv/h}$ J305B	Dosis Acumulada Lectura Digital
0	500	3,996	3,996	492	3,99504
15	460	3,6963	7,6923	408	3,31296
30	480	3,8295	11,5218	456	3,70272
45	470	3,7962	15,318	444	3,60528
60	455	3,663	18,981	440	3,5728
75	410	3,33	22,311	400	3,248
90	500	3,996	26,307	484	3,93008
105	455	3,663	29,97	436	3,54032
120	390	3,1635	33,1335	376	3,05312
135	400	3,2634	36,3969	392	3,18304
150	405	3,2967	39,6936	404	3,28048

En la figura 48 se muestra una gráfica donde se pueden comparar los resultados de dosis acumulada de los datos capturados por los dos medidores para este caso.

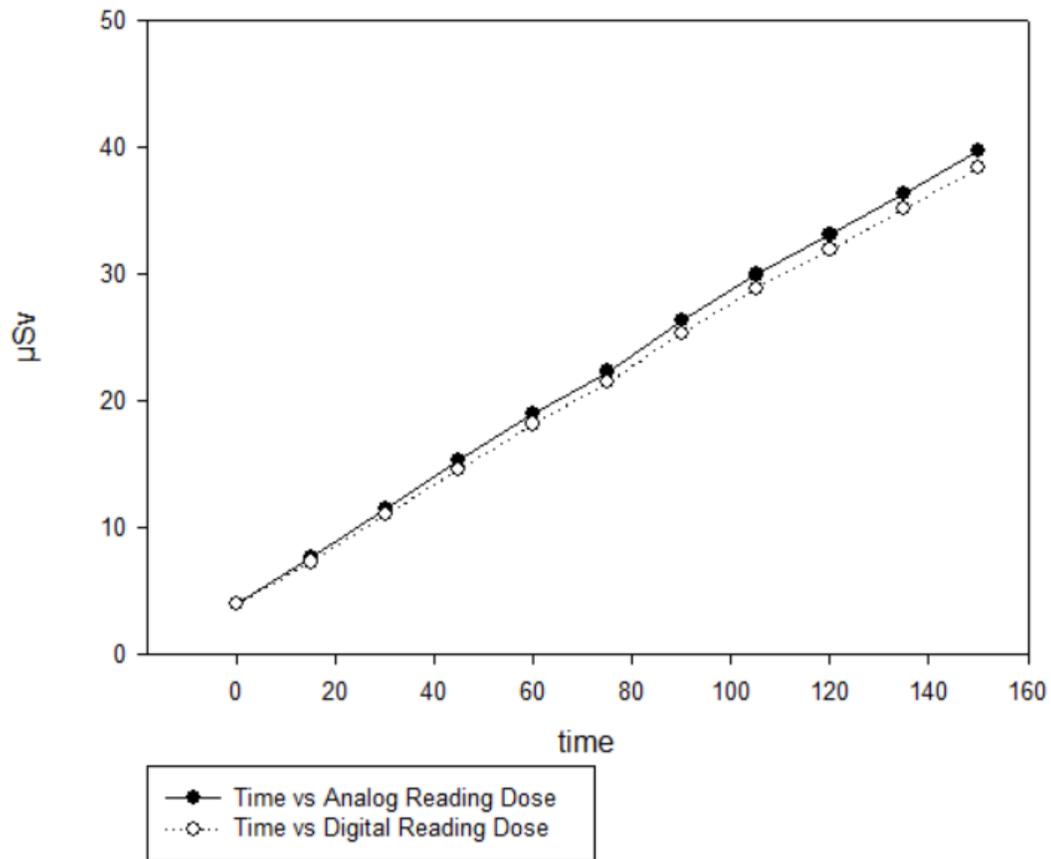


Figura 48. Gráfica comparativa de Dosis Acumulada de Tecnecio – 99.

Para los valores de Counts Per Minute (CPM) correspondientes a la tabla 7, se tiene estadística descriptiva (Walpole, Myres, Myres, & Ye, 2012) para las lecturas realizadas en el proceso de calibración por el dispositivo utilizado en este trabajo, se presentan en la tabla 8:

Tabla 8. Estadística descriptiva en CPM para Tc - 99.

VARIABLE	VALOR Tecnecio - 99
Media	430,18
Mediana	436
Desviación estándar	37,66
Rango	116

En relación a los valores expresados en tabla anterior, el cálculo de nivel de actividad de radiación ionizante, que se entiende como como medida de la cantidad de un radionúclido en la emisión del pulso y su detección a través de la señal reflejada en el contador Geiger Müller a través de los CPM (Universidad de Castilla de la Mancha, 2015). La actividad de radiación ionizante se expresa en una unidad llamada becquerel (Bq), un becquerel corresponde a la actividad de una fuente radiactiva en la que se produce una transformación o una desintegración nuclear por segundo. Este valor se obtiene según se expresa en la ecuación (6), en el experimento se utiliza un tiempo de 150 s, se expresan sus resultados en la tabla 9:

$$A(t)=\text{conteos}/\text{tiempo} \quad (6)$$

Tabla 9. Actividad de Radiación Ionizante para Tc - 99.

VARIABLE	Actividad de Radiación Ionizante	VALOR
Tecnecio - 99	$(430,18 \text{ cpm})/(150 \text{ s}) \pm (37,66 \text{ cpm})/(150 \text{ s})$	$2,86 \text{ Bq} \pm 0,25 \text{ Bq}$

A(t) = Actividad de radiación ionizante.

Bq = Becquerel. Es una unidad derivada del Sistema Internacional de Unidades (SI) que mide la actividad radiactiva. Un becquerel se define como la actividad de una cantidad de material radiactivo con decaimiento de un núcleo por segundo, representa la unidad de actividad más pequeña.

Como se pueden apreciar en los resultados presentados en la tabla 8, al aplicar la ecuación 6 el valor de actividad de radiación ionizante corresponde a de una actividad de 2,86 Bq con un error asociado a su desviación de 0,25 Bq para; es un valor pequeño de actividad de radiación que se correlaciona con las mediciones de dosis tomadas. En todo caso, es importante resaltar que el experimento diseñado para la prueba del dispositivo desarrollado en este trabajo no tuvo como objetivo exponer a una situación de peligrosidad radiactiva a las personas presentes en el escenario considerado, sino demostrar que efectivamente el dispositivo puede realizar lecturas ante la presencia de elementos radiactivos.

Una vez verificado a través de los resultados obtenidos en las mediciones que el contador Geiger Müller de bajo costo esta calibrado, es posible realizar las muestras para el estudio propuesto.

Capítulo 6. Resultados

Este dispositivo fue probado en entornos de zona urbana y rural como se aprecia en la figura 49, se destaca que el dispositivo puede ser transportado por el dron o utilizado de forma portable.

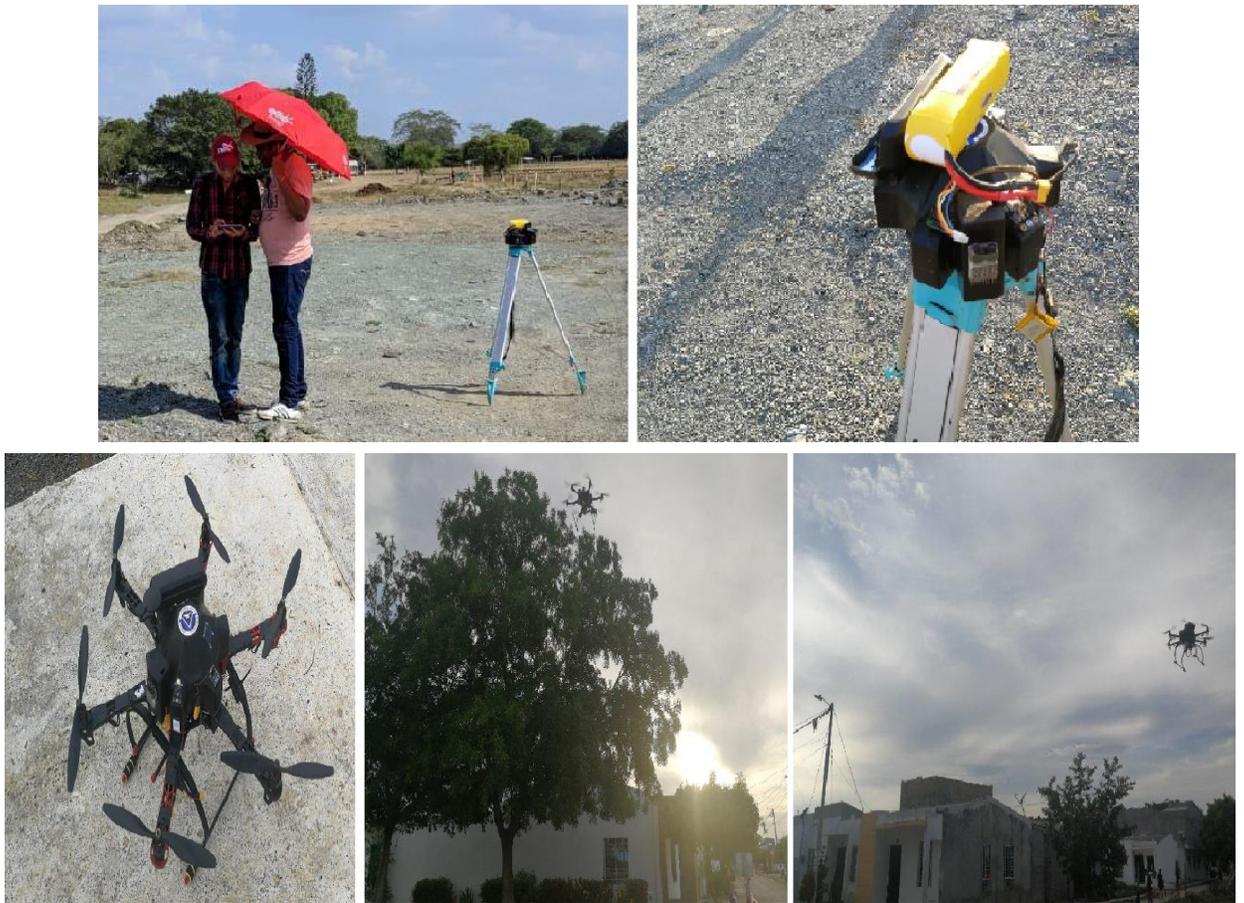


Figura 49. Dispositivo ubicado en zona rural de la ciudad de Montería.

Se tomaron muestras en dos puntos de la ciudad de Montería, uno en un punto del área urbana de la ciudad y otro en el área rural. Para el área urbana, el dispositivo se utilizó en el punto $8^{\circ} 47'25.0'' \text{N} - 75^{\circ} 51'46.6'' \text{W}$, sus resultados se muestran en la tabla 10, figura 50 y figura 51, para datos promediados en las horas de 8.40 a.m. a 9.00 a.m. , 14.40

pm - 15.00 p.m. y 16.40 p.m. - 17.00 p.m., con una temperatura promedio de 38 ° C y una humedad promedio de 49.

Tabla 10. Medición de radiación ionizante, humedad, temperatura y UV en la ubicación geográfica 8 ° 47'25.0 ''N - 75 ° 51'46.6'' W, área urbana de Montería.

Tiempo	Promedio CPM	Promedio Dosis CPM	Promedio μSv	Promedio Acumulado Dosis μSv	Promedio IUV	Promedio Acumulado IUV	Promedio hPa	Promedio msnm
0	5,20	5,20	0,05	0,05	7,56	7,56	1013,18	43,64
15	7,87	13,08	0,07	0,12	7,53	15,08	1014,68	44,41
30	9,07	22,15	0,09	0,21	7,53	22,61	1011,94	44,64
45	6,67	28,82	0,07	0,28	7,53	30,14	1016,34	44,57
60	4,80	33,63	0,05	0,32	7,53	37,67	1014,49	44,26
75	5,20	38,83	0,05	0,37	7,53	45,20	1013,06	44,43
90	5,07	43,90	0,05	0,42	7,55	52,76	1014,91	44,70
105	5,60	49,51	0,05	0,47	7,50	60,26	1014,97	44,31
120	6,14	55,65	0,06	0,53	7,58	67,83	1011,97	44,20
135	6,80	62,45	0,06	0,59	7,56	75,39	1016,27	44,20
150	5,74	68,19	0,05	0,64	7,56	82,95	1011,83	44,17
165	5,21	73,40	0,05	0,69	7,56	90,51	1012,01	44,27
180	7,21	80,60	0,06	0,76	7,56	98,07	1011,41	44,35
195	6,14	86,74	0,06	0,81	7,56	105,63	1011,92	44,41
210	7,87	94,62	0,07	0,89	7,56	113,19	1011,96	44,39
225	7,21	101,82	0,07	0,96	7,54	120,73	1011,93	44,37
240	5,60	107,42	0,05	1,01	7,54	128,27	1011,82	44,35
255	7,21	114,63	0,07	1,07	7,57	135,85	1011,89	44,35
270	7,61	122,24	0,07	1,14	7,56	143,41	1011,50	44,28
285	7,61	129,84	0,07	1,21	7,56	150,97	1011,97	44,34
300	8,01	137,85	0,07	1,28	7,55	158,52	1011,65	44,24
315	7,21	145,06	0,07	1,35	7,42	165,94	1011,71	44,32
330	7,61	152,66	0,07	1,42	7,47	173,41	1011,57	44,04
345	8,01	160,67	0,07	1,49	7,42	180,83	1013,21	44,58
360	6,81	167,48	0,07	1,56	7,42	188,25	1011,54	44,25
375	5,07	172,55	0,05	1,61	7,41	195,66	1011,63	44,49
390	16,81	189,36	0,15	1,76	7,37	203,03	1011,43	44,47
405	6,41	195,77	0,06	1,82	7,39	210,42	1011,63	44,15
420	6,54	202,30	0,06	1,88	7,38	217,80	1011,66	44,30

435	6,00	208,31	0,06	1,94	7,53	225,33	1011,66	44,23
450	9,07	217,38	0,08	2,02	7,53	232,86	1011,75	44,09
465	7,21	224,59	0,06	2,09	7,54	240,40	1011,13	44,26
480	14,02	238,61	0,13	2,21	7,55	247,96	1011,65	44,35
495	5,20	243,81	0,05	2,26	7,56	255,52	1011,78	44,21
510	7,87	251,69	0,08	2,34	7,57	263,09	1013,31	44,35
525	5,74	257,42	0,06	2,40	7,57	270,66	1011,85	44,28
540	6,14	263,56	0,06	2,45	7,56	278,21	1011,65	44,35
555	5,87	269,43	0,05	2,51	7,55	285,77	1011,89	44,43
570	6,41	275,84	0,06	2,57	7,60	293,36	1011,84	44,27
585	8,68	284,52	0,10	2,67	7,62	300,99	1011,72	44,38
600	6,40	290,92	0,06	2,73	7,61	308,59	1012,01	44,26
615	5,47	296,39	0,05	2,78	7,58	316,17	1011,93	44,63
630	6,54	302,93	0,06	2,84	7,57	323,74	1011,80	44,38
645	7,07	310,01	0,07	2,91	7,57	331,31	1011,77	44,43
660	13,47	323,48	0,12	3,03	7,58	338,89	1012,03	44,43
675	5,61	329,08	0,05	3,08	7,59	346,47	1011,94	44,57
690	7,07	336,16	0,06	3,14	7,58	354,05	1013,38	44,78
705	8,01	344,16	0,08	3,22	7,61	361,66	1011,57	44,72
720	8,01	352,17	0,08	3,30	7,62	369,28	1011,97	44,40
735	5,87	358,04	0,06	3,35	7,49	376,77	1011,71	44,49
750	5,61	363,65	0,06	3,41	7,51	384,28	1011,64	44,69
765	5,34	368,99	0,05	3,46	7,50	391,77	1011,91	44,50
780	5,47	374,46	0,05	3,51	7,50	399,27	1011,54	44,62
795	4,54	378,99	0,04	3,55	7,49	406,75	1011,75	44,70
810	6,67	385,66	0,06	3,61	7,47	414,22	1011,75	44,70
825	4,40	390,07	0,04	3,66	7,45	421,68	1011,66	44,25
840	6,00	396,07	0,06	3,71	7,46	429,14	1011,62	44,55
855	5,20	401,28	0,05	3,77	7,61	436,76	1011,58	44,57
870	7,34	408,61	0,07	3,83	7,61	444,37	1011,72	44,63
885	6,54	415,15	0,06	3,89	7,62	451,98	1011,62	44,46
900	4,94	420,09	0,05	3,94	7,62	459,60	1011,47	44,55
915	8,94	429,03	0,08	4,03	7,61	467,21	1011,52	44,57
930	7,34	436,37	0,07	4,09	7,61	474,82	1011,43	44,52
945	7,21	443,58	0,06	4,16	7,60	482,42	1011,55	44,72
960	4,54	448,11	0,04	4,20	7,59	490,01	1011,25	44,79
975	5,74	453,85	0,06	4,26	7,62	497,63	1011,36	44,70
990	5,20	459,06	0,05	4,31	7,61	505,24	1011,41	44,57
1005	6,67	465,73	0,06	4,37	7,61	512,85	1011,11	44,69
1020	6,27	472,00	0,06	4,43	7,58	520,43	1011,15	44,46
1035	7,34	479,34	0,07	4,49	7,61	528,03	1010,82	44,54

1050	7,07	486,41	0,07	4,56	7,59	535,63	1011,19	44,52
1065	5,34	491,75	0,05	4,61	7,58	543,20	1011,27	44,71
1080	14,41	506,15	0,13	4,74	7,47	550,68	1011,04	44,62
1095	6,81	512,96	0,06	4,80	7,51	558,19	1011,21	44,74
1110	5,20	518,16	0,05	4,85	7,49	565,67	1010,81	44,45
1125	5,21	523,37	0,05	4,90	7,46	573,14	1011,01	44,61
1140	5,47	528,84	0,05	4,95	7,46	580,60	1011,22	44,37
1155	5,21	534,04	0,05	5,00	7,45	588,05	1011,21	44,56
1170	5,07	539,11	0,05	5,05	7,43	595,48	1011,42	44,45
1185	5,87	544,99	0,05	5,10	7,43	602,92	1011,25	44,35
1200	5,07	550,06	0,05	5,15	7,60	610,52	1011,41	44,61
1215	6,27	556,33	0,06	5,21	7,62	618,14	1011,49	44,03
1230	6,68	563,00	0,07	5,27	7,64	627,48	1012,48	43,20

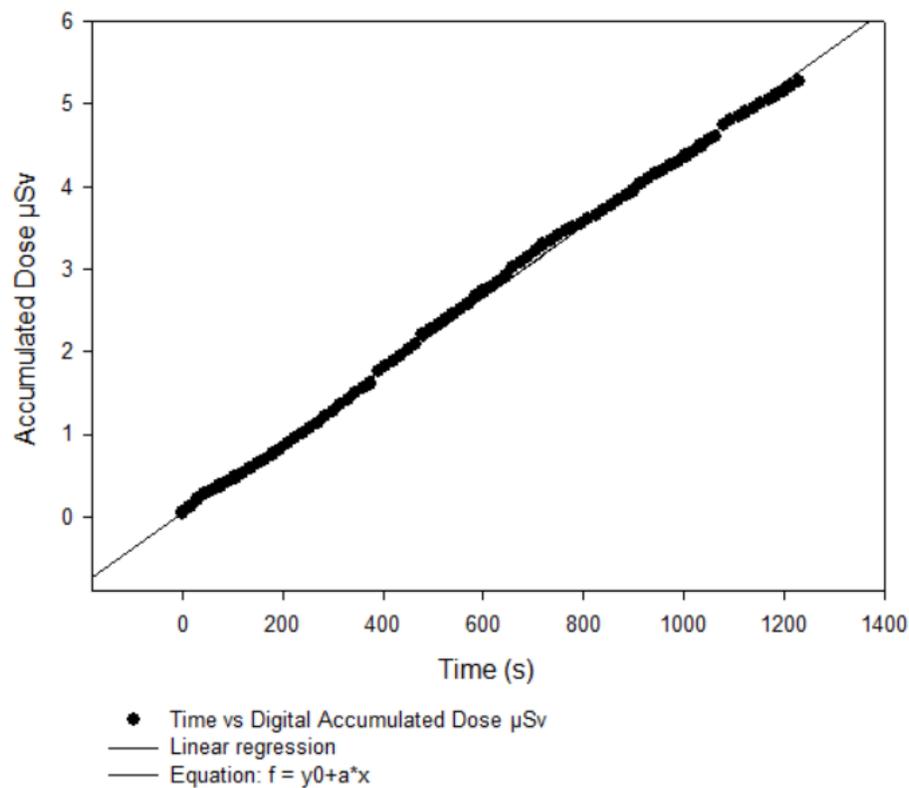


Figura 50. Grafica de dosis acumulada µSv Medición de radiación ionizante en la ubicación geográfica 8 ° 47'25.0 ''N - 75 ° 51'46.6'' W, área urbana de Montería.

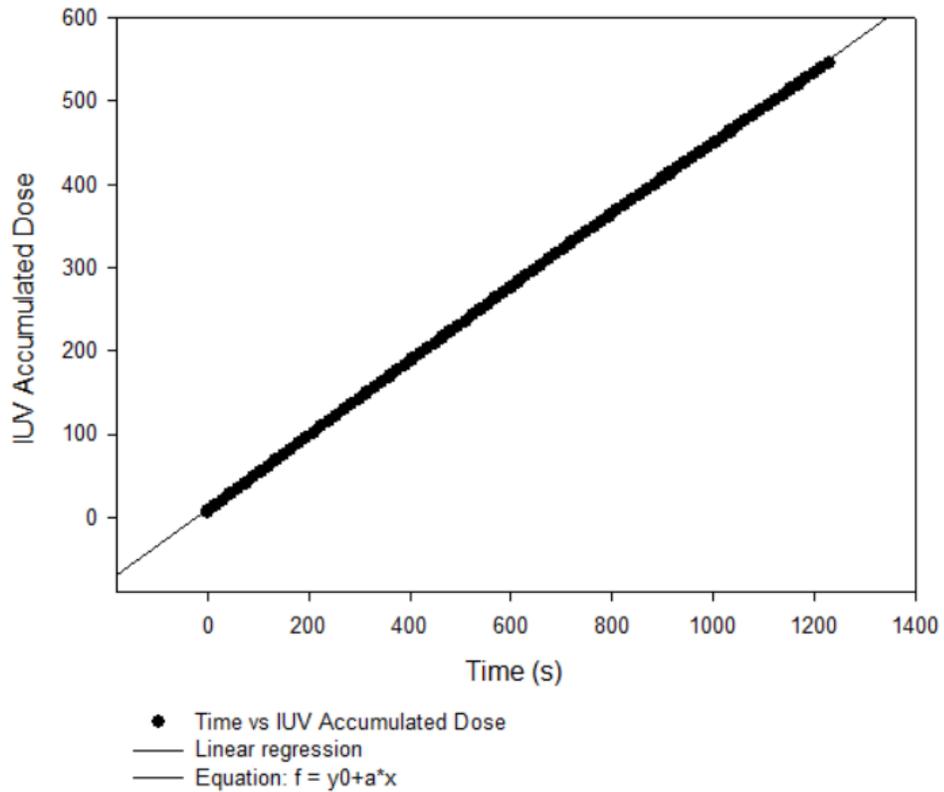


Figura 51. Gráfica de dosis acumulada IUUV en la ubicación geográfica 8 ° 47'25.0 "N - 75 ° 51'46.6" W, área urbana de Montería.

Para el área rural correspondiente a la ubicación geográfica del punto 8 ° 46'09.8 "N - 75 ° 49'45.6" W, sus resultados se muestran en la tabla 11, figura 52 y figura 53, para datos promediados en las horas de 5.40 a.m. a 6.00 a.m., 21.00 pm - 21.20 p.m. y 23.00 p.m. - 23.20 p.m., con una temperatura promedio de 29 ° C y una humedad promedio de 77.

Tabla 11. Medición de radiación ionizante, humedad, temperatura y UV en la ubicación geográfica 8 ° 46'09.8 "N - 75 ° 49'45.6" W, área urbana de Montería.

Tiempo	Promedio CPM	Promedio Dosis CPM	Promedio μSv	Promedio Acumulado Dosis μSv	Promedio IUV	Promedio Acumulado IUV	Promedio hPa	Promedio msnm
0	0,80	0,80	0,01	0,01	6,81	6,81	1008,55	42,60
15	8,00	8,80	0,07	0,08	6,81	13,62	1008,58	42,70
30	7,73	16,53	0,07	0,15	6,83	20,44	1008,57	42,62
45	6,13	22,67	0,05	0,21	6,82	27,27	1008,58	42,71
60	4,80	27,47	0,04	0,25	6,81	34,08	1008,56	42,58
75	6,40	33,87	0,06	0,30	6,81	40,89	1008,59	42,38
90	8,80	42,67	0,08	0,38	6,81	47,70	1008,60	42,50
105	4,80	47,47	0,04	0,42	6,80	54,50	1008,58	42,25
120	6,40	53,87	0,06	0,48	6,78	61,28	1008,59	42,29
135	6,13	60,00	0,05	0,54	6,69	67,97	1008,57	42,49
150	4,53	64,53	0,04	0,58	6,72	74,69	1008,60	42,32
165	5,60	70,13	0,05	0,62	6,72	81,41	1008,55	42,14
180	4,53	74,67	0,04	0,66	6,82	88,23	1008,60	42,35
195	4,27	78,93	0,04	0,70	6,72	94,95	1008,55	42,56
210	7,47	86,40	0,07	0,77	6,81	101,77	1008,58	42,52
225	7,47	93,87	0,07	0,83	6,83	108,60	1008,61	42,25
240	4,27	98,13	0,04	0,87	6,72	115,32	1008,59	42,15
255	3,47	101,60	0,03	0,90	6,72	122,04	1008,55	42,67
270	4,27	105,87	0,04	0,94	6,71	128,75	1008,58	42,08
285	4,80	110,67	0,04	0,98	6,71	135,45	1008,57	42,69
300	7,47	118,13	0,07	1,05	6,67	142,13	1008,57	42,51
315	4,53	122,67	0,04	1,09	6,76	148,88	1008,55	42,57
330	4,27	126,93	0,04	1,13	6,75	155,63	1008,55	42,49
345	4,53	131,47	0,04	1,17	6,75	162,38	1008,57	42,68
360	8,00	139,47	0,07	1,24	6,75	169,13	1008,56	42,53
375	3,20	142,67	0,03	1,27	6,73	175,86	1008,53	42,80
390	4,80	147,47	0,04	1,31	6,72	182,59	1008,58	42,41
405	4,27	151,73	0,04	1,35	6,70	189,29	1008,57	42,58
420	5,87	157,60	0,05	1,40	6,70	195,99	1008,61	42,29
435	5,60	163,20	0,05	1,45	6,64	202,62	1008,59	42,54
450	6,13	169,33	0,05	1,50	6,64	209,26	1008,56	42,87
465	3,20	172,53	0,03	1,53	6,63	215,89	1008,58	42,44
480	5,33	177,87	0,05	1,58	6,70	222,59	1008,56	42,90
495	2,40	180,27	0,02	1,60	6,66	229,25	1008,58	42,58

510	3,20	183,47	0,03	1,63	6,64	235,88	1008,57	42,73
525	3,47	186,93	0,03	1,66	6,65	242,53	1008,57	42,69
540	6,13	193,07	0,05	1,71	6,78	249,31	1008,60	42,56
555	3,73	196,80	0,03	1,74	6,74	256,05	1008,59	42,62
570	3,73	200,53	0,03	1,78	6,69	262,74	1008,61	42,24
585	3,47	204,00	0,03	1,81	6,72	269,47	1008,59	42,59
600	3,20	207,20	0,03	1,84	6,69	276,15	1008,57	42,55
615	5,07	212,27	0,04	1,88	6,70	282,86	1008,61	42,10
630	2,93	215,20	0,03	1,91	6,72	289,57	1008,59	42,55
645	3,73	218,93	0,03	1,94	6,68	296,25	1008,59	42,57
660	5,07	224,00	0,04	1,98	6,62	302,87	1008,57	42,77
675	2,40	226,40	0,02	2,01	6,62	309,49	1008,54	42,79
690	3,20	229,60	0,03	2,03	6,64	316,12	1008,57	42,59
705	5,07	234,67	0,04	2,08	6,63	322,75	1008,54	42,87
720	2,40	237,07	0,02	2,10	6,55	329,30	1008,56	42,58
735	4,27	241,33	0,04	2,14	6,54	335,84	1008,57	42,54
750	6,93	248,27	0,06	2,20	6,54	342,38	1008,52	42,89
765	5,07	253,33	0,04	2,24	6,56	348,94	1008,53	42,88
780	3,20	256,53	0,03	2,27	6,53	355,46	1008,53	42,84
795	6,93	263,47	0,06	2,33	6,48	361,94	1008,52	42,74
810	6,93	270,40	0,06	2,40	6,47	368,41	1008,52	43,02
825	4,80	275,20	0,04	2,44	6,45	374,86	1008,55	42,63
840	3,47	278,67	0,03	2,47	6,45	381,32	1008,53	42,77
855	3,20	281,87	0,03	2,50	6,31	387,63	1008,55	42,60
870	4,00	285,87	0,04	2,53	6,31	393,94	1008,50	42,95
885	3,47	289,33	0,03	2,56	6,31	400,25	1008,57	42,77
900	5,07	294,40	0,04	2,61	6,30	406,55	1008,54	42,70
915	4,53	298,93	0,04	2,65	6,29	412,84	1008,55	42,68
930	5,60	304,53	0,05	2,70	6,30	419,14	1008,53	42,69
945	3,47	308,00	0,03	2,73	6,30	425,44	1008,56	42,36
960	5,33	313,33	0,05	2,77	6,26	431,70	1008,55	42,73
975	3,73	317,07	0,03	2,81	6,28	437,97	1008,55	42,73
990	3,20	320,27	0,03	2,84	6,27	444,24	1008,58	42,23
1005	3,73	324,00	0,03	2,87	6,40	450,64	1008,56	42,59
1020	2,93	326,93	0,03	2,89	6,39	457,02	1008,51	42,70
1035	4,53	331,47	0,04	2,93	6,37	463,39	1008,59	42,53
1050	4,80	336,27	0,04	2,98	6,36	469,75	1008,56	42,50
1065	4,27	340,53	0,04	3,02	6,34	476,10	1008,55	42,53
1080	4,53	345,07	0,04	3,06	6,33	482,43	1008,55	42,39
1095	3,73	348,80	0,03	3,09	6,31	488,74	1008,55	42,52
1110	2,40	351,20	0,02	3,11	6,31	495,05	1008,54	42,50

1125	4,27	355,47	0,04	3,15	6,34	501,39	1008,54	42,61
1140	5,33	360,80	0,05	3,19	6,32	507,71	1008,52	42,66
1155	4,27	365,07	0,04	3,23	6,27	513,98	1008,59	42,52
1170	2,93	368,00	0,03	3,26	6,30	520,28	1008,57	42,38
1185	4,80	372,80	0,04	3,30	6,25	526,52	1008,52	42,96
1200	3,73	376,53	0,03	3,33	6,26	532,78	1008,56	42,62
1215	5,33	381,87	0,05	3,38	6,26	539,04	1008,54	42,54
1230	3,47	385,33	0,03	3,41	6,26	545,31	1008,54	42,74

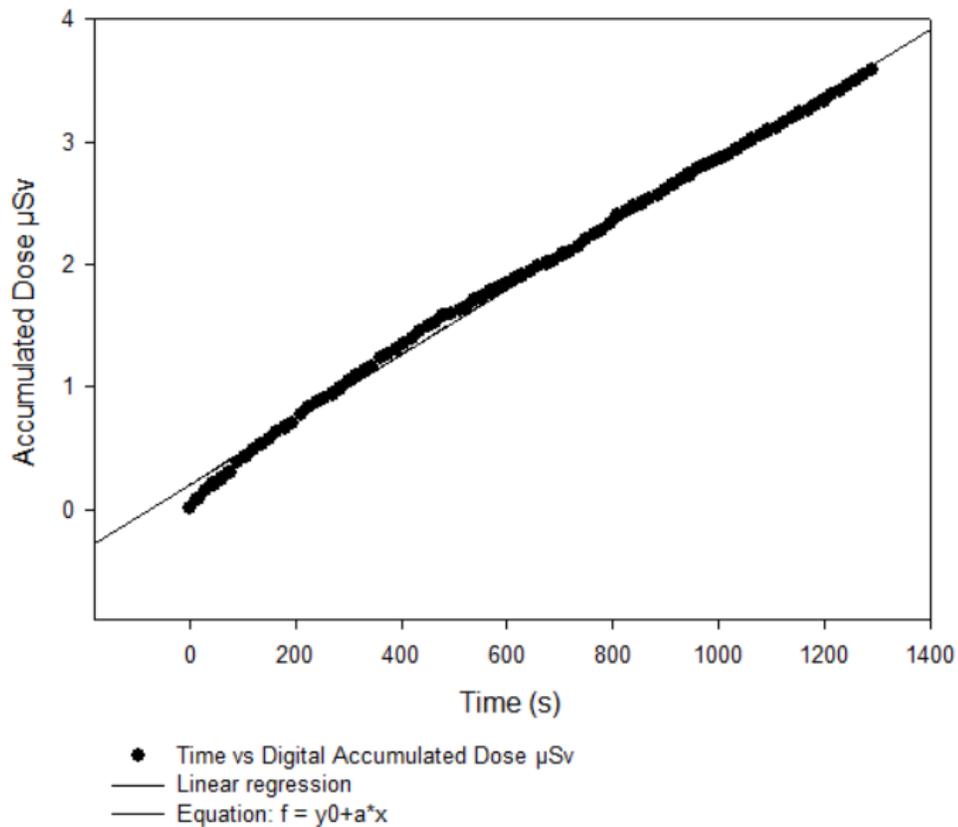


Figura 52. Grafica de dosis acumulada µSv Medición de radiación ionizante en la ubicación geográfica 8 ° 46'09.8 "N - 75 ° 49'45.6" W, área rural de Montería.

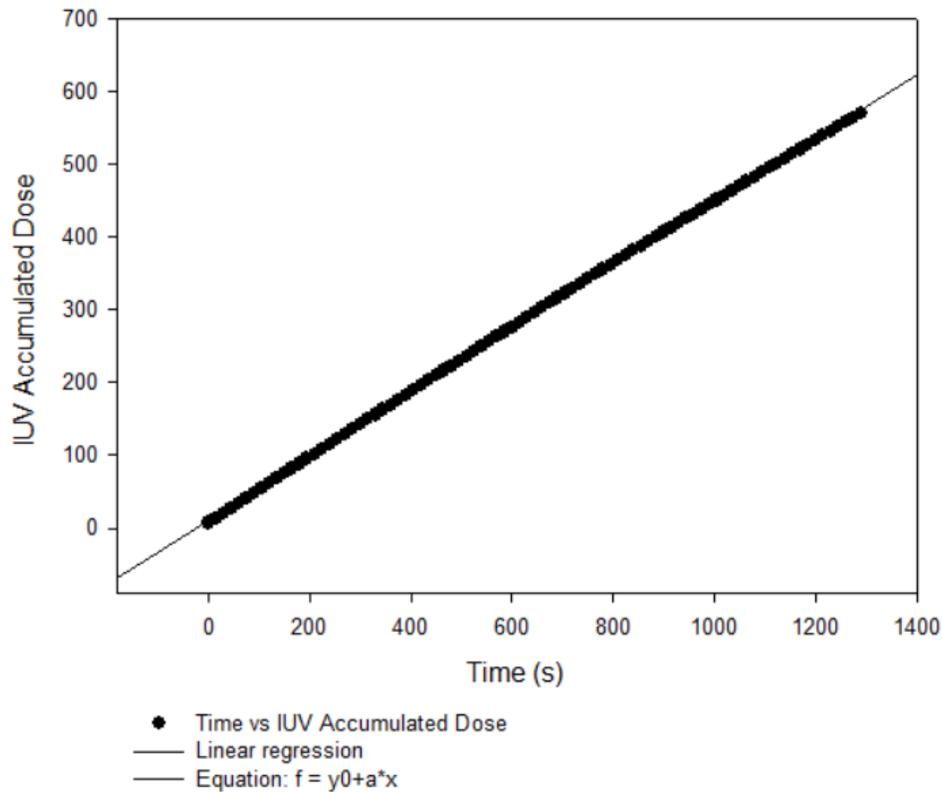


Figura 53. Gráfica de dosis acumulada IUV en la ubicación geográfica 8 ° 46'09.8 "N - 75 ° 49'45.6" W, área rural de Montería.

En las figuras 50, 51, 52 y 53, se puede apreciar que la variación de la dosis en función del tiempo obedece a un comportamiento lineal, lo que significa que el depósito de dosis al medio no es abrupto, sino más que todo proporcionado, cabe anotar que estas exposiciones de dosis son acumulativas, lo que en esencia pueden conducir a dos tipos de lesiones una letal u otra subletal. Para el primer caso los daños que se le atribuyen son irreversibles, en este sentido existe una alta probabilidad de contraer cáncer a nivel de la piel. Para el segundo caso el daño o afectación que pueda inducir a nivel de piel es reversible, es decir, con tratamiento desaparece.

Capítulo 7. Conclusiones, limitaciones y recomendaciones

7.1 Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos con el sistema de información, se derivan las siguientes conclusiones:

- El uso de diferentes tecnologías de código abierto tanto en software como en hardware, permite un proyecto basado en herramientas que no aumentan su costo de implementación directa. Dentro de las pruebas de conectividad y funcionalidades del sistema no hubo problema.
- Los servicios en la nube fueron completamente efectivos, al igual que la velocidad de conexión a Internet proporcionó un entorno operativo ideal.
- Al comparar la calibración del medidor ensamblado con los calibrados por el laboratorio secundario de Colombia, para este tipo de dispositivos, se observa una gran coincidencia, lo que permite afirmar que este dispositivo es apto para realizar dosimetría ambiental.
- La gran innovación del trabajo consiste en realizar dosimetría en campos abiertos con equipos portátiles e inalámbricos, que permiten en tiempo real tomar decisiones vitales en la exposición a la radiación ionizante y UV.
- Se puede evidenciar que efectivamente si la distancia aumenta dos veces, la dosis recibida disminuirá (Figuras 46 y 47), por lo tanto, para fines de protección

radiológica, es aconsejable usar dispositivos o controles remotos en los casos donde sea posible.

- Esta investigación ha permitido desarrollar un dispositivo que permite obtener una aproximación de la dosis de radiación ionizante y UV esperada para la ciudad de Montería, estimación que puede ser replicada en el resto del país. Se puede apreciar con los resultados en pruebas de campo de las figuras 50 a 53 que la variación de la dosis en función del tiempo obedece a un comportamiento lineal, lo que significa que el depósito de dosis al medio no es abrupto, con esta información se está realizando una base de datos que permitirá compararlos con futuras mediciones de radiaciones ionizantes en cada sitio de campo, de esta forma se podrá estimar un promedio general para la Ciudad.

7.2 Limitaciones

- Autonomía de vuelo, que suele ser bastante reducida debido a los requisitos de peso que deben cumplir y que obligan a que las baterías no sean especialmente notables en capacidad.
- Abarcar más áreas de estudio para aumentar la data estadística, esto obedece a las condiciones sociales de acceso a ciertas zonas.

7.3 Recomendaciones

- El uso de los medidores para monitorear las variables relacionadas con la radiación ionizante en zonas donde se presentan niveles altos de insolación es viable desde el punto técnico, y su despliegue en diferentes zonas servirá como una solución para el estudio de las condiciones de radiación ionizante y que la

información captura sea utilizada por las entidades u organizaciones de la salud para la prevención de los daños subletales o letales en las personas por este tipo de fenómenos naturales.

- Por otro lado, la creación de una base de datos que albergue información a lo largo del año servirá para mejorar la data en las zonas de uso y mejorar el proceso de análisis, generar mapas de radiación ionizante, entre otros.
- El siguiente paso, luego del despliegue permanente del sistema de medición y con la disposición de los datos acumulados durante largos períodos de meses o años, será la creación de algoritmos predictivos que puedan con un alto porcentaje de probabilidad determinar o estimar los protocolos de prevención en la salud de las personas.

Referencias Bibliográficas

- Abuqubu, J. M. H. (2016). Conversion Factor of Radioactivity Measurements Counts per Second (cps) into Dose Rates in Aqaba-Jordan Phosphogypsum disposal piles. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3593.4968>
- AECC. (2016). Sol y cáncer de piel. Recuperado el 4 de septiembre de 2017, de <https://www.aecc.es/SobreElCancer/Prevencion/elsol/Paginas/solycancerdepiel.aspx>
- Aertec Solutions. (2015). Sistemas aéreos pilotados de forma remota Drones / UAVs / UAS / RPAS. Recuperado el 24 de agosto de 2017, de <http://www.aertecsolutions.com/download/infographics/infografia-UAS-ES-v02.pdf>
- Agile Alliance. (2018). Agile Alliance. Recuperado el 5 de marzo de 2018, de <https://www.agilealliance.org/>
- Agrawal, P. C., Yadav, J. S., Antia, H. M., Dedhia, D., Shah, P., Chauhan, J. V., ... Subbarao, K. (2017). Large Area X-Ray Proportional Counter (LAXPC) Instrument on AstroSat and Some Preliminary Results from its Performance in the Orbit. *Journal of Astrophysics and Astronomy*, 38(2), 1–13. <https://doi.org/10.1007/s12036-017-9451-z>
- Al-Kaseem, B. R., Al-Raweshidy, H. S., Al-Dunainawi, Y., & Banitsas, K. (2017). A New Intelligent Approach for Optimising 6LoWPAN MAC Layer Parameters. *IEEE Access*, 3536(99), 1–1. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2737951>
- Al-radaideh, A., & Sun, L. (2017). Self-Localization of a Tethered Quadcopter Using Inertial Sensors in a GPS-Denied Environment.
- Al Saeed, I. (2011). Importance of Emerging Technologies in Society for Futuring & Innovation. *Journal of Applied Global Research*, 12–22.
- Albaker, B. M., & Rahim, N. A. (2009). A survey of collision avoidance approaches for unmanned aerial vehicles. En *2009 International Conference for Technical Postgraduates (TECHPOS)* (pp. 1–7). IEEE. <https://doi.org/10.1109/TECHPOS.2009.5412074>
- Albano, M., Ferreira, L. L., Pinho, L. M., & Alkhawaja, A. R. (2015). Computer Standards & Interfaces Message-oriented middleware for smart grids. *Computer Standards & Interfaces*, 38, 133–143. <https://doi.org/10.1016/j.csi.2014.08.002>
- Aldana, C., & Forero, P. (s/f). *Manual de Protección Radiológica*. Bogotá D.C., Colombia. Recuperado de [http://www.saludcapital.gov.co/Biblioteca/Manuales/2016/PROVISIÓN DE SERVICIOS/MANUAL DE PROTECCIÓN RADIOLOGICA.pdf](http://www.saludcapital.gov.co/Biblioteca/Manuales/2016/PROVISIÓN%20DE%20SERVICIOS/MANUAL%20DE%20PROTECCIÓN%20RADIOLOGICA.pdf)
- Alonso Arévalo, J. (2016). El “Internet de las cosas...” *DesiderataLAB*, 1, 24–25. Recuperado de [https://gredos.usal.es/jspui/bitstream/10366/127354/1/JULIO Desiderata n°1 PDF.pdf](https://gredos.usal.es/jspui/bitstream/10366/127354/1/JULIO%20Desiderata%20n%25201%20PDF.pdf)
- American Cancer Society. (2016). Cancer Facts & Figures 2016. *Cancer Facts & Figures 2016*, 1–9. <https://doi.org/10.1097/01.NNR.0000289503.22414.79>
- Antia, H. M., Yadav, J. S., Agrawal, P. C., Chauhan, J. V., Manchanda, R. K., Chitnis, V., ... Subbarao, K. (2017). Calibration of the Large Area X-ray Proportional Counter

- (LAXPC) instrument on-board AstroSat. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 231(1), 10. <https://doi.org/10.3847/1538-4365/aa7a0e>
- Arias, C. F. (2006). La regulación de la protección radiológica y la función de las autoridades de salud. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 20(2–3), 188–197. <https://doi.org/10.1590/s1020-49892006000800015>
- Arteaga Camacho, J. G. (2014). *Estudio comparativo de metodologías de desarrollo de software*. Universidad de Nariño.
- Attix, F. H. (2004). *Introduction to Radiological Physics and Radiation Dosimetry*. WILEY - VCH Verlag GmbH & co.KGaA, Germany.
- Autonics. (s/f). Sensores fotoléctricos. *Autonics*, 12–15. <https://doi.org/http://dominion.com.mx/descargas/sensores-fotoelectricos.pdf>
- Barrientos, A., Del Cerro, J., Gutiérrez, P., San Martín, R., Martínez, A., & Rossi, C. (2009). Vehículos aéreos no tripulados para uso civil. Tecnología y aplicaciones. *Grupo de Robótica y Cibernética, Universidad Politécnica de Madrid*, 1–29. Recuperado de <http://webdiis.unizar.es/~neira/docs/ABarrientos-CEDI2007.pdf>
- Básaca-Preciado, L. C., Moreno-Partida, A. S., Terrazas-Gaynor, J. M., Ponce, M., López, J., Rodríguez-Quinonez, J. C., ... Sergiyenko, O. (2017). Home and building automation through social networks. *Conference Proceedings - 2017 17th IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2017 1st IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe, IEEEIC / I and CPS Europe 2017*, 0–3. <https://doi.org/10.1109/IEEEIC.2017.7977858>
- Bashkirov, V. A., Schulte, R. W., Hurley, R. F., Johnson, R. P., Sadrozinski, H. F.-W., Zatserklyaniy, A., ... Giacometti, V. (2016). Novel scintillation detector design and performance for proton radiography and computed tomography. *Medical Physics*, 43(2), 664–674. <https://doi.org/10.1118/1.4939255>
- Bausà, J., Carlos, A., Gómez, G., Zaragozaí, B., Alex, Z., Martínez, G., ... Índice, L. (2014). Sensores De Temperatura, 5. Recuperado de http://server-die.alc.upv.es/asignaturas/LSED/2003-04/0.Sens_Temp/ARCHIVOS/SensoresTemperatura.pdf
- Beck, K., & Andres, C. (2004). *Extreme Programming Explained , Second Edition*. (Addison - Wesley, Ed.) (Second Edi).
- Beedle, M., Van Bennekum, A., Cockburn, A., Cunningham, W., Fowler, M., Highsmith, J., ... Thomas, D. (2001). Manifesto for Agile Software Development, 2–3. Recuperado de <https://www.researchgate.net/file.PostFileLoader.html?id=57d055b593553b11467dd59&assetKey=AS%3A403742915612673%401473271220194>
- Benitez Machado, D., Calderon, C. A., & Plasencia Moreno, L. (2016). Propuesta de arquitectura para Internet de las Cosas, (Noviembre).
- Benmouiza, K., & Cheknane, A. (2013). Forecasting hourly global solar radiation using hybrid k-means and nonlinear autoregressive neural network models. *Energy Conversion and Management*, 75, 561–569.

- <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.07.003>
- Bennett, K. H., & Rajlich, V. T. (2000). Software maintenance and evolution. *Proceedings of the conference on The future of Software engineering - ICSE '00*, 73–87. <https://doi.org/10.1145/336512.336534>
- Bharathkumar, V., Irshad, S. M., Gowtham, S., & Geethamani, R. (2017). Microcontroller based digital meter with alert system using GSM. *Proceedings of 2017 11th International Conference on Intelligent Systems and Control, ISCO 2017*, 444–448. <https://doi.org/10.1109/ISCO.2017.7856033>
- Bi, Y., Chen, G., Deng, Q., & Wang, Y. (2018). *Embedded Systems Technology* (Vol. 857). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-1026-3>
- Birks, J. B. (1964). *The Theory and Practice of Scintillation Counting*. Physics Today. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/C2013-0-01791-4>
- Boehm, B. (2004). *Balancing Agility and Discipline: A Guide for the Perplexed*. https://doi.org/10.1007/978-3-540-24675-6_1
- Bojanowski, J. S., Donatelli, M., Skidmore, A. K., & Vrieling, A. (2013). An auto-calibration procedure for empirical solar radiation models. *Environmental Modelling and Software*, 49, 118–128. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.08.002>
- Boman, J., Taylor, J., & Ngu, A. H. (2014). Flexible IoT Middleware for Integration of Things and Applications, (CollaborateCom), 481–488. <https://doi.org/10.4108/icst.collaboratecom.2014.257533>
- Cancio Pérez, D. (2008). Impacto radiológico de las fuentes naturales y artificiales de radiación . El informe UNSCEAR 2008, 3–9.
- Canós, J. H., Letelier, P., Penadés, C., & Valencia, D. P. De. (2003). Metodologías Ágiles en el Desarrollo de Software. *Development*, 1–8. Recuperado de <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.97.4553&rep=rep1&type=pdf>
- Capuano, V., & Martín, J. (2005). *El calentamiento global de la tierra, un ejemplo de equilibrio dinámico*. Córdoba, Argentina.
- Caracol Radio. (2014). En Colombia hay cerca de 1.500 pacientes nuevos cada año por cáncer de piel. Recuperado de http://caracol.com.co/radio/2014/05/23/nacional/1400840100_239095.html
- Carlson, J. L. (2013). *Redis in Action*. Media.johnwiley.com.au. Shelter Island, NY: Manning Publications Co.
- Casanova, L. (s/f). Capitulo 10 sistemas de posicionamiento global (g.p.s.) 10. *Sistema de Posicionamiento Global*.
- Chang, J. F. (2006). *Business Process Management Systems. Strategy and Implementation*. New York: Taylor & Francis Group.
- Chao, H., Gu, Y., & Napolitano, M. (2013). A survey of optical flow techniques for UAV navigation applications. En *2013 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)* (pp. 710–716). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICUAS.2013.6564752>
- Chávez, R., García, C., Pérez, L., & Reyes, C. (2013). Uso de vehículos aéreos no

- tripulados para la caracterización del paisaje sumergido; Bahía Estacahuite. *Ciencia y Mar*, (51), 35–40.
- Chen, G., & Kotz, D. (2000). A Survey of Context-Aware Mobile Computing Research. *Time*, 3755(TR2000-381), 1–16. <https://doi.org/10.1.1.140.3131>
- Chen, M., & Zhu, D. (2017). An Improved Belief Function Method for Path Planning of AUV, 1249–1254.
- Chernyshova, M., Czarski, T., Dominik, W., Jakubowska, K., Rzakiewicz, J., Scholz, M., ... Zabolotny, W. (2014). Development of GEM gas detectors for X-ray crystal spectrometry. *Journal of Instrumentation*, 9(3). <https://doi.org/10.1088/1748-0221/9/03/C03003>
- Chi, Q., Yan, H., Zhang, C., Pang, Z., Xu, L. Da, & Member, S. (2014). A Recon fi gurable Smart Sensor Interface for Industrial WSN in IoT Environment, 10(2), 1417–1425.
- Chil, R., Konstantinou, G., Fraile, L. M., Vaquero, J., Rodriguez, C., Borromeo, S., ... Vaquero, J. J. (2017). Personal Dosimetry Geolocalized System for Radiation Monitoring. *2016 IEEE Nuclear Science Symposium, Medical Imaging Conference and Room-Temperature Semiconductor Detector Workshop, NSS/MIC/RTSD 2016, 2017-Janua*, 8–9. <https://doi.org/10.1109/NSSMIC.2016.8069698>
- Cockburn, A. (2004). Crystal clear : a human powered methodology for small teams. *Agile software development series.*, (January 2004), xxii, 312 p.
- Coetzee, L., & Eksteen, J. (2011). *The Internet of Things - promise for the future? An introduction. In IST-Africa Conference Proceedings*. IEEE.
- Cook, F. (2015). *Node.js Essentials*.
- Cordeiro, L., Mar, C., Valentin, E., Cruz, F., Patrick, D., Barreto, R., & Lucena, V. (2008). An agile development methodology applied to embedded control software under stringent hardware constraints. *ACM SIGSOFT Software Engineering Notes*, 33(1), 1. <https://doi.org/10.1145/1344452.1344459>
- Cuerno-Rejado, C., García-Hernández, L., Sánchez-Carmona, A., Carrio, A., Sanchez-Lopez, J. L., & Campoy, P. (2016). Evolución histórica de los vehículos aéreos no tripulados hasta la actualidad. *Dyna (Spain)*, 91(3). <https://doi.org/10.6036/7781>
- D-robotics UK. (2010). Temperature Sensor DHT 11 Humidity & Temperature Sensor. *D-Robotics*, 9. Recuperado de www.droboticonline.com
- Da Silva, M. D., & Lopes Tavares, H. (2015). *Redis Essentials*. Birmingham, Mumbai.: PACKT Publishing.
- Daramas, A., Pattarakitsophon, S., Eiumtrakul, K., Tantidham, T., & Tamkittikhun, N. (2016). HIVE: Home Automation System for Intrusion Detection. *2016 Fifth ICT International Student Project Conference (ICT-ISPC)*, 4. <https://doi.org/10.1109/ICT-ISPC.2016.7519246>
- Darwish, M., & Ouda, A. (2015). Evaluation of an OAuth 2 . 0 Protocol Implementation for Web Server Applications. *2015 International Conference and Workshop on Computing and Communication (IEMCON)*, 2–5.
- Daugherty, P. P., Banerjee, P., & Negm, W. (2017). El crecimiento no convencional a través de la IIoT en la Industria. *Petrotecnia*, 50–64.

- De León-Peña, R., & Vargas-Lombardo, M. (2017). OpenID connect y la seguridad de la identidad digital. *Revista de Iniciación Científica*, 3(2), 94–99.
- Deemer, P., Benefield, G., Larman, C., & Vodde, B. (2012). The Scrum Primer. *InfoQ*, 1–20. <https://doi.org/10.1093/ejo/cjq172>
- Del Valle, E. E., Valdez, A. D., Miranda, C. A., Schlesinger, P. L., Chiozza, J. A., Miranda, C. V., & Fernández Cvitkovic, M. M. (2014). Control de Radiaciones No Ionizantes: Detectores de Potencia RMS en Radiofrecuencias. *III Jornadas de Investigación en Ingeniería del NEA y Países Limítrofes*, 1–8.
- Dennis, A. K. (2016). *Raspberry Pi Computer Architecture Essentials*.
- Dietrich, T., Andryeyev, O., Zimmermann, A., & Mitschele-Thiel, A. (2016). Towards a Unified Decentralized Swarm Management and Maintenance Coordination Based on MAVLink. *Proceedings - 2016 International Conference on Autonomous Robot Systems and Competitions, ICARSC 2016*, 124–129. <https://doi.org/10.1109/ICARSC.2016.64>
- Diffey, B. L. (1998). Ultraviolet radiation and human health. *Clinics in dermatology*, 16(1), 83–89.
- Dores, C., Reis, L. P., & Lopes, N. V. (2014). Internet of things and cloud computing. *2014 9th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/CISTI.2014.6877071>
- Electrónica Estudio. (2013). Acelerómetro. Recuperado el 12 de diciembre de 2018, de http://www.electronicaestudio.com/docs/SHT-004_info.pdf
- Electronics, R. (2013). DIY Geiger Counter Module.
- Elementary OS. (s/f). Una alternativa rápida y abierta a Windows y macOS · elementary OS. Recuperado el 29 de agosto de 2017, de <https://elementary.io/es/>
- Emerson, S., Choi, Y. K., Hwang, D. Y., Kim, K. S., & Kim, K. H. (2015). An OAuth based authentication mechanism for IoT networks. *International Conference on ICT Convergence 2015: Innovations Toward the IoT, 5G, and Smart Media Era, ICTC 2015*, 1072–1074. <https://doi.org/10.1109/ICTC.2015.7354740>
- Environmental Protection Agency. (2005). *Manual Informativo Sobre El Radón. La guía para proteger a su familia y a usted del radón. U.S. Environmental Protection Agency*. Recuperado de <https://www.lamanoamiga.org/factsheets/radon.pdf>
- Environmental Protection Agency. (2016). *Sitios Superfund en South Gate. U.S. Environmental Protection Agency*. San Francisco, USA.
- Erazo Parga, M., & Cárdenas Romero, R. (2013). *Ecología. Impacto de la problemática ambiental actual sobre la salud y el ambiente*.
- Escamilla, R. (2010). Diseño , Construcción , Instrumentación y Control de un Vehículo Aéreo No Tripulado (UAV). *Tesis, Intitucion(Ingenieroencontrolyautomatizacion)*, Mexico. Recuperado de <http://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/9717/1/12.pdf>
- Estévez Echanique, R. (2018). *Dosimetría radiológica*.
- Fallas, J. (2002). Sistema de posicionamiento global. *Universidad Nacional*, (January 2002), 48. Recuperado de <http://www.ucipfg.com/Repositorio/MGAP/MGAP-05/BLOQUE-ACADEMICO/Unidad->

- 3/complementarias/Sistemas_de_posicionamiento_global.pdf
- Farace, P., Righetto, R., & Meijers, A. (2016). Pencil beam proton radiography using a multilayer ionization chamber. *Physics in Medicine and Biology*, 61(11), 4078–4087. <https://doi.org/10.1088/0031-9155/61/11/4078>
- Fernandez, E. (2017). *Evaluación en la seguridad de las comunicaciones de drones e implementación de nuevos métodos de seguridad*. Universidad de León.
- Foré, D., James, C., & Garver, C. (2015). Elementary, my dear Freya. Recuperado de <https://www.linuxvoice.com/issues/007/8eos.pdf>
- Fundación Telefónica. (2011). *Smart Cities: un primer paso hacia la internet de las cosas*.
- Gafar, S. M., & El-Ahdal, M. A. (2015). A new developed radiochromic film for high-dose dosimetry applications. *Dyes and Pigments*, 114(C), 273–277. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2014.11.021>
- Gaj, P., Jasperneite, J., Member, S., & Felser, M. (2013). Distributed Environment — a Survey, 9(1), 182–189. <https://doi.org/10.1109/TII.2012.2209668>
- Gallegos-Hernández, J. F. (2008). Artemisa, (5), 363–366.
- García-Barreto, J. A. (2008). Radiación de un Cuerpo Negro Ley de Emisión de Planck una Breve Introducción, (55), 1–8.
- Gheorghe, M. V. (2017). Calibration for Tilt-Compensated Electronic Compasses with Alignment Between the Magnetometer and Accelerometer Sensor Reference Frames.
- Godoy, D. A., Sosa, E. O., Neis, R., & Redondo, R. D. (2014). Ambientes Inteligentes: Middleware de Soporte para la Captura, Almacenamiento y Publicación de Datos de una Redes de Sensores Inalámbricos. *XX Congreso Argentino de Ciencias de la Computación*, 10. Recuperado de http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/42170/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Gómez, T., López, R., Pablo, P., Bacalla, S., Nacional, U., & San, M. De. (2010). Criterios de Selección de metodologías de desarrollo de software.
- González-Púmariega, M., Vernhes Tamayo, M., & Sánchez-Lamar, Á. (2009). La Radiación Ultravioleta. Su efecto dañino y consecuencias para la salud humana. *Theoria*, 18(2), 69–80.
- González, A. J. (1994). *Los efectos biológicos de las dosis bajas de radiación ionizante: Una visión más completa*. Viena, Austria. Recuperado de https://www.iaea.org/sites/default/files/36405843745_es.pdf
- Greengard, S. (2015). *The Internet of Things*.
- Grimmett, R. (2014). *Raspberry Pi Robotic Projects*.
- Grupo de Física Nuclear. (s/f). Caracterización de un contador Geiger. Absorción de radiación de materiales. Recuperado el 10 de agosto de 2017, de <http://nuclear.fis.ucm.es/LABORATORIO/guiones/Caracterizaci%F3ndeGeiger.pdf>
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7), 1645–1660. <https://doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010>
- Güerci, A. M., & Córdoba, E. E. (2015). Nuevo enfoque de los efectos biológicos de las

- radiaciones ionizantes. *Revista Argentina de Radiología*, 79(4), 224–225. <https://doi.org/10.1016/j.rard.2015.06.002>
- Guerrero-Ibañez, J. A., Estrada-Gonzalez, F. P., Medina-Tejeda, M. A., Rivera-Gutierrez, M. G., Alcaraz-Aguirre, J. M., Maldonado-Mendoza, C. A., ... Lopez-Gonzalez, V. I. (2017). SGreenH-IoT: Plataforma IoT para Agricultura de Precisión. *Sistemas, Cibernética e Informática*, 53–58. Recuperado de [http://www.iiisci.org/journal/CV%7B\\$%7D/risci/pdfs/CA544SI17.pdf](http://www.iiisci.org/journal/CV%7B$%7D/risci/pdfs/CA544SI17.pdf)
- Gundavarapu, S., Belt, M., Huffman, T., Tran, M. A., Komljenovic, T., Bowers, J. E., & Blumenthal, D. J. (2017). Integrated Sagnac optical gyroscope sensor using ultra-low loss high aspect ratio silicon nitride waveguide coil, 10323. <https://doi.org/10.1117/12.2263411>
- Gungor, V. C., Sahin, D., Kocak, T., Ergut, S., Buccella, C., Cecati, C., & Hancke, G. P. (2013). A Survey on smart grid potential applications and communication requirements. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 9(1), 28–42. <https://doi.org/10.1109/TII.2012.2218253>
- Güngör, V. C., Sahin, D., Kocak, T., Ergüt, S., Buccella, C., Cecati, C., & Hancke, G. P. (2011). Smart grid technologies: Communication technologies and standards. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 7(4), 529–539. <https://doi.org/10.1109/TII.2011.2166794>
- Gupta, A. (2013). *Java EE 7 Essentials: Enterprise Developer Handbook*. (M. Loukides & M. Blanchette, Eds.) (First Edit). California, United States of America: O'Reilly Media, Inc. <https://doi.org/10.1007/978-1-4302-4426-4>
- Gupta, H. P., Chudgar, H. S., Mukherjee, S., Dutta, T., & Sharma, K. (2016). A Continuous Hand Gestures Recognition Technique for Human-Machine Interaction Using Accelerometer and Gyroscope Sensors. *IEEE Sensors Journal*, 16(16), 6425–6432. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2016.2581023>
- Gyger, D. (2003). *Feature-Driven Development*.
- Ha, C., Yoon, J., Kim, C., Lee, Y., Kwon, S., & Lee, D. (2018). Teleoperation of a platoon of distributed wheeled mobile robots with predictive display. *Autonomous Robots*, 42(8), 1819–1836. <https://doi.org/10.1007/s10514-018-9747-0>
- Hendry, J. H., Simon, S. L., Wojcik, A., Sohrabi, M., Cardis, E., Laurier, D., ... Hayata, I. (2014). Human exposure to high natural background radiation: what can it teach us about radition risks? *NIH Public Access*, 29(0). <https://doi.org/10.1088/0952-4746/29/2A/S03.Human>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. (Sexta edición, Ed.), McGraw - Hill. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, L. (2003). *Metodología de la Investigación*. McGraw - Hill (Tercera ed).
- Hernawan, S., Nugraha, E. D., Sutanto, & Hiswara, E. (2016). Pembuatan Thermoluminesense Dosimeter Dari Bahan Litium Fluorida Dan Pengotor Titanium. *Jurnal Forum Nuklir*, 10(1), 38–44. Recuperado de

- <http://jurnal.batan.go.id/index.php/jfn/article/view/3492>
- Highsmith III, J. A. (2013). *Adaptive Software Development*. (Addison - Wesley, Ed.).
- Hong, T. C., Kang, K., Lim, K., & Ahn, J. Y. (2016). Network architecture for control and non-payload communication of UAV. *2016 International Conference on Information and Communication Technology Convergence, ICTC 2016*, 762–764. <https://doi.org/10.1109/ICTC.2016.7763289>
- Hoyos Botero, C. (2000). *Un modelo para investigación documental*. (Señal Editora, Ed.).
- Hsu, L.-T., Gu, Y., & Kamijo, S. (2017). Intelligent Viaduct Recognition and Driving Altitude Determination using GPS Data. *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, 8858(c), 1–1. <https://doi.org/10.1109/TIV.2017.2737325>
- Husak, M., & Jakovenko, J. (2010). Use of barometric sensor for vertical velocity measurement. *Conference Proceedings - The 8th International Conference on Advanced Semiconductor Devices and Microsystems, ASDAM 2010*, (2), 223–226. <https://doi.org/10.1109/ASDAM.2010.5667020>
- Hwang, J. H., Kwak, S. I., Kwon, J. H., & Choi, H. D. (2016). Development of multi-band personal dosimeter for RF and ELF exposure monitoring. En *2016 URSI Asia-Pacific Radio Science Conference (URSI AP-RASC)* (pp. 414–416). IEEE. <https://doi.org/10.1109/URSIAP-RASC.2016.7601390>
- ICRP. (2007). *Las recomendaciones 2007 de la Comisión Internacional de Protección Radiológica. Publicación 103*. Recuperado de http://www.icrp.org/docs/P103_Spanish.pdf
- IDEAM. (2014). Características climatológicas de ciudades principales y municipios turísticos., 48. <https://doi.org/http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21789/1Sitios+turisticos2.pdf/cd4106e9-d608-4c29-91cc-16bee9151ddd>
- IEPES. (2009). Investigación Cuantitativa. *Investigación Cuantitativa*, 1–38. Recuperado de http://ipes.anep.edu.uy/documentos/investigacion/materiales/inv_cuanti.pdf
- Iguan Baño, J. (2017). *Diseño e Implementación de un Algoritmo de Control Avanzado para la Estabilización de un Quadrotor Basado en el Autopiloto Pixhawk y un Sistema de Posicionamiento RTK - GPS. Trabajo de Grado*. Universidad Politécnica de València. Recuperado de https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/106570/48597919_TFG_15306396776668905626224923006782.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo. (1991). *NTP 304: Radiaciones ionizantes: normas de protección*. Recuperado de https://www.insst.es/documents/94886/326827/ntp_304.pdf/a4172a24-65a0-42a9-add3-9428100fa070
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo. (2003). *NTP 614: Radiaciones Ionizantes: normas de protección*. Recuperado de http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/601a700/ntp_614.pdf
- Institutos Nacionales de la Salud - NIH. (2014). El sol y la piel: El lado oscuro de la

- exposición al sol. Recuperado el 3 de septiembre de 2017, de <https://salud.nih.gov/articulo/el-sol-y-la-piel/>
- Internet Society. (2017). Internet of Things (IoT). Recuperado de <https://www.internetsociety.org/iot>
- IT Digital Media Group. (2016). El mercado mundial de sensores IoT superará los 17.000 millones de dólares en 2020. *IT User*. Recuperado de <http://www.ituser.es/encifras/2016/04/el-mercado-mundial-de-sensores-iot-superara-los-17000-millones-de-dolares-en-2020>
- Jahanjoo, A. (2017). Accurate Fall Detection Using 3-Axis Accelerometer Sensor And MLF Algorithm, (Ipria), 90–95.
- Jahn, A., Sommer, M., Ullrich, W., Wickert, M., & Henniger, J. (2013). The BeOmax system – Dosimetry using OSL of BeO for several applications. *Radiation Measurements*, 56, 324–327. <https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2013.01.069>
- Jain, A., & Kanhangad, V. (2016). Investigating gender recognition in smartphones using accelerometer and gyroscope sensor readings. *2016 International Conference on Computational Techniques in Information and Communication Technologies, ICCTICT 2016 - Proceedings*, 597–602. <https://doi.org/10.1109/ICCTICT.2016.7514649>
- Jefuss, L. (2009). *Soldadura: Principios y Aplicaciones*. (PARANINFO, Ed.) (5a Edición). España.: PARANINFO.
- John, V., & Liu, X. (2017). A Survey of Distributed Message Broker Queues. Recuperado el 9 de enero de 1980, de <https://www.semanticscholar.org/paper/A-Survey-of-Distributed-Message-Broker-Queues-John-Liu/007cce60f60ac5ef11ba89b3a38e6afa621273d4>
- Johnston, S. J., Apetroaie-Cristea, M., Scott, M., & Cox, S. J. (2017). Applicability of commodity, low cost, single board computers for Internet of Things devices. *2016 IEEE 3rd World Forum on Internet of Things, WF-IoT 2016*, 141–146. <https://doi.org/10.1109/WF-IoT.2016.7845414>
- Khan, F. M., & Gibbons, J. P. (2014). *Khan's the physics of radiation therapy*. LIPPINCOTT WILLIAMS & WILKINS.
- Khoo, E., Kien, T., Shanmugavel, M., & Ragavan, V. (2016). Motion planning of a bipedal walking robot with leg-mounted ultrasonic sensors - An experimental study.
- Kim, P., Chen, J., Kim, J., & Cho, Y. K. (2018). *Advanced Computing Strategies for Engineering* (Vol. 10863). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-91635-4>
- Kitchenham, B., Linkman, S., & Law, D. (1997). DESMET: A methodology for evaluating software engineering methods and tools, (June).
- Kortuem, G., Kawsar, F., Sundramoorthy, V., & Fitton, D. (2010). Smart objects as building blocks for the Internet of things. *IEEE Internet Computing*, 14(1), 44–51. <https://doi.org/10.1109/MIC.2009.143>
- Lahlou, T. A., & Baran, T. A. (2016). A Robust State-Transfer Architecture for Distributed and Asynchronous Optimization, (1), 1–5.

- Laksono, P. W., Jauhari, W. A., Iftadi, I., Christina Ayu, K., Ibnu Pandu, B. P., Jamaluddin, A., ... Haijunowibowo, D. (2016). A system based on fuzzy logic approach to control humidity and temperature in fungus cultivation. *Proceedings - Joint International Conference on Electric Vehicular Technology and Industrial, Mechanical, Electrical and Chemical Engineering, ICEVT 2015 and IMECE 2015*, 344–347. <https://doi.org/10.1109/ICEVTIMECE.2015.7496716>
- Larrondo Muguercia, R., Miyares Díaz, E. & González Angulo, A. (2012). Elementos para la prevención del cáncer de piel. Recuperado de <http://www.medigraphic.com/pdfs/fofia/fd-2012/fd121e.pdf>
- Lee, H., Kim, S., Park, S., Jeong, Y., Lee, H., & Yi, K. (2017). Hyunsung Lee , Seonwook Kim , Sungyool Park , Yonghwan Jeong , Hojoon Lee and Kyongsu Yi *, (Iv), 1434–1439.
- Letham, L. (2001). *GPS fácil : uso del Sistema de Posicionamiento Global*. Mountaineers. Recuperado de <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=orjnvjPqELcC&oi=fnd&pg=PA5&dq=sistema+de+posicionamiento+global&ots=IlsoDBjscT&sig=NMOQ74Ux4NMKu1QOcBkHTJqwOZk#v=onepage&q=sistema+de+posicionamiento+global&f=false>
- Lin, F., & Qi, F. (2016). Research on the hardware structure characteristics and EKF filtering algorithm of the autopilot PIXHAWK. *Proceedings - 2016 6th International Conference on Instrumentation and Measurement, Computer, Communication and Control, IMCCC 2016*, 228–231. <https://doi.org/10.1109/IMCCC.2016.128>
- Liou, J. (2017). Non-invasive Psychological signal Measurement with Photoelectric sensor, 1–2.
- Liu, Z., Li, Z., Liu, B., Fu, X., Ioannis, R., & Ren, K. (2015). Rise of Mini-Drones. En *Proceedings of the 2015 Workshop on Privacy-Aware Mobile Computing - PAMCO '15* (pp. 7–12). New York, New York, USA: ACM Press. <https://doi.org/10.1145/2757302.2757303>
- Llamasa R., L. E., & Torres O., J. I. (2003). Fundamentos Para Una Propuesta De Norma Técnico Ambiental Sobre Radiaciones Electromagnéticas De Frecuencia Extremadamente Baja, (22), 143–148. Recuperado de <http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/7435/4433>
- Looe, H. K., Stelljes, T. S., Foschepoth, S., Harder, D., Willborn, K., & Poppe, B. (2013). The dose response functions of ionization chambers in photon dosimetry - Gaussian or non-Gaussian? *Zeitschrift fur Medizinische Physik*, 23(2), 129–143. <https://doi.org/10.1016/j.zemedi.2012.12.010>
- Lopez Mateo, A. (2010). *Sistema de proximidad ultrasónico. Instituto Politecnico Nacional Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica* (Vol. 1). Recuperado de <http://ptesis.bnct.ipn.mx>
- Lv, X., & Chen, Y. (2009). A design of autonomous tracing in intelligent vehicle based on infrared photoelectric sensor. *Proceedings - 2009 International Conference on Information Engineering and Computer Science, ICIECS 2009*. <https://doi.org/10.1109/ICIECS.2009.5365003>

- Macedo, T., & Oliveira, F. (2011). *Redis Cookbook*. (A. Oram & M. Hendrickson, Eds.). California, United States of America: O'Reilly Media, Inc.
- Mai, P. T. A., Nurminen, J. K., & Di Francesco, M. (2014). Cloud databases for internet-of-things data. *Proceedings - 2014 IEEE International Conference on Internet of Things, iThings 2014, 2014 IEEE International Conference on Green Computing and Communications, GreenCom 2014 and 2014 IEEE International Conference on Cyber-Physical-Social Computing, CPS 20, (iThings)*, 117–124. <https://doi.org/10.1109/iThings.2014.26>
- Maida, E., & Pacienza, J. (2015). *Metodologías de desarrollo de software*. Pontificia Universidad Católica Argentina Santa María de los Buenos Aires. Recuperado de <http://bibliotecadigital.uca.edu.ar/repositorio/tesis/metodologias-desarrollo-software.pdf>
- Martin, R. C. (2003). Agile Software Development: Principles, Patterns, and Practices. *International Journal of Secure Software Engineering*, 1(3), 95–145. <https://doi.org/10.1007/BF03250842>
- Martinez-Carranza, J., Loewen, N., Marquez, F., Garcia, E. O., & Mayol-Cuevas, W. (2015). Towards autonomous flight of micro aerial vehicles using ORB-SLAM. En *2015 Workshop on Research, Education and Development of Unmanned Aerial Systems (RED-UAS)* (pp. 241–248). IEEE. <https://doi.org/10.1109/RED-UAS.2015.7441013>
- Massillon-JL, G., Cueva-Prócel, D., Díaz-Aguirre, P., Rodríguez-Ponce, M., & Herrera-Martínez, F. (2013). Dosimetry for Small Fields in Stereotactic Radiosurgery Using Gafchromic MD-V2-55 Film, TLD-100 and Alanine Dosimeters. *PLoS ONE*, 8(5), 1–8. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0063418>
- Mateos Pérez, A. (2012). *SmartFidelity*. Universidad de Extremadura.
- Matey. (2016). Catalogo De Robótica, Sensores Y Arduino, 111. Recuperado de <http://www.electronicaembajadores.com/Admin/Content/ovccz5rb.pdf>
- Meisel, Adolfo; Vega, M. (2004). La estatura de los colombianos: un ensayo de antropometría histórica, 1919-2002. *Revista del Banco de la república*, (45), 1–42. <https://doi.org/ISSN 1692-3715>
- Mendoza, I. A., Pérez, D. A., Fernando, J., Gómez, B., Ortega, B. C., Pablo, J., ... Aguilar, E. (2014). Recomendaciones clínicas para la fotoprotección en México. *Dermatología Revista Mexicana*, 12(4), 243–255.
- Mera Chamorro, A. M., & Ruano González, D. A. (2019). *Implementación de un Robot de Navegación Autónoma Terrestre para Evasión de Obstáculos Usando el Dispositivo Pixhawk. Trabajo de Grado*. <https://doi.org/10.1037//0033-2909.I26.1.78>
- Mettler, F. A., Huda, W., Yoshizumi, T. T., & Mahesh, M. (2008). Effective Doses in Radiology and Diagnostic Nuclear Medicine: A Catalog. *Radiology*, 248(1), 254–263. <https://doi.org/10.1148/radiol.2481071451>
- Miglino, O., Lund, H. H., & Cardaci, M. (2014). La robótica como herramienta para la educación, (March), 1–22.
- Miller, A. J., & Mihm, M. C. J. (2006). Melanoma. *Orbis Litterarum*, 51–65.

- <https://doi.org/10.1111/j.1600-0730.1981.tb00784.x>
- Ministerio de salud. (1979). Código Sanitario Nacional, 215.
- Ministerio de Salud. (1994). Decreto No. 1832 (3 de agosto de 1994). Presidencia de la República de Colombia.
- Miyamoto, Y., Nanto, H., Kurobori, T., Fujimoto, Y., Yanagida, T., Ueda, J., ... Yamamoto, T. (2014). RPL in alpha particle irradiated Ag+-doped phosphate glass. *Radiation Measurements*, 71, 529–532. <https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2014.08.007>
- Morales, C., & López-Nevot, M. A. (2006). Efectos de la radiación ultravioleta (UV) en la inducción de mutaciones de p53 en tumores de piel. *Oncología (Barcelona)*. Recuperado de http://scielo.isciii.es/scielo.php?pid=S0378-48352006000700003&script=sci_arttext&tlng=en
- Morera, D. (2002). COTS Evaluation Using Desmet Methodology & Analytic Hierarchy Process (AHP). *Proceedings of the PROFES 2002 conference*, 485–493. https://doi.org/10.1007/3-540-36209-6_40
- Moscucci, M. (s/f). *Grossman & Baim's Cardiac Catheterization, Angiography and Intervention*. (Lippincott Williams & Wilkins, Ed.) (8th editio). Philadelphia.
- Mulder, P., & Breseman, K. (2017). *Node.js for Embedded Systems*.
- Nakajima, S., Shiomi, J., Yamashita, K., & Noda, M. (2017). Sensitivity of piezoelectric MEMS ultrasonic sensors using sol-gel PZT films prepared through various pyrolysis temperatures, (111), 3–4.
- Nanto, H., Hirasawa, K., Takei, Y., Yanagida, Y., Sugiyama, M., Koguchi, Y., ... Hda, T. (2017). Monitoring of radiation dose distribution utilizing RPL in glass dosimeter — Its application to radioactive emergency sensing-. En *2017 IEEE SENSORS* (pp. 1–3). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICSENS.2017.8234133>
- Nejaim, Y., De Faria Vasconcelos, K., Roque-Torres, G. D., Abraham, M.-L., Bóscolo, F. N., & Haiter-Neto, F. (2015). Racionalización de la dosis de radiación. *Rev Estomatol Herediana*, 25(3), 238–245. Recuperado de <http://www.scielo.org.pe/pdf/reh/v25n3/a10v25n3.pdf>
- Newman, B., & Callahan, M. J. (2011). ALARA (as low as reasonably achievable) CT 2011—executive summary. *Pediatric Radiology*, 41(S2), 453–455. <https://doi.org/10.1007/s00247-011-2154-8>
- Node.js Foundation. (2017). Node.js. Recuperado el 31 de agosto de 2017, de <https://nodejs.org/es/>
- Openbiz. (2009). Documento informativo: Open source. *Openbiz*, 4.
- Organización Mundial de la Salud. (2003). Índice UV Solar Mundial, 1–34.
- Pallero, J. L. ., Martínez Cuevas, S., & García Blanco, R. . (2013). Propuesta de docencia en computación de alto rendimiento utilizando equipos de bajo coste, (October 2013), 1–11.
- Parra, D. G. (2016). Aplicación de los drones como herramienta tecnológica innovadora para la investigación de los sitios arqueológicos. Recuperado de <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/9673>

- Particle. (2017). Particle Guides Electron. Recuperado el 27 de agosto de 2017, de <https://docs.particle.io/guide/getting-started/intro/electron/>
- Pastor, J. (2015). Raspberry Pi, presente y futuro del mini ordenador que está revolucionando el sector. Recuperado el 25 de agosto de 2017, de <https://www.xataka.com/internet-of-things/entrevista-con-eben-upton-la-raspberry-pi-se-prepara-para-la-internet-de-las-cosas>
- Patel, A., Stocks, B., Fisher, C., Nicolls, F., & Boje, E. (2017). Tracking the Cheetah Tail Using Animal-Borne Cameras, GPS, and an IMU. *IEEE Sensors Letters*, 1(4), 1–4. <https://doi.org/10.1109/LESENS.2017.2716618>
- Perera, C., Liu, C. H., Jayawardena, S., & Chen, M. (2015). A Survey on Internet of Things from Industrial Market Perspective. *IEEE Access*, 2, 1660–1679. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2015.2389854>
- Pérez, D. A., Ginestá, M. G., Matías, M. H., & Hernández, J. M. (2007). Ingeniería del software en entornos de SL, 314.
- Pérez, O. (2011). Cuatro enfoques metodológicos para el desarrollo de Software RUP – MSF – XP – SCRUM. *Revista Inventum*, 0(10), 64–78. Recuperado de <http://biblioteca.uniminuto.edu/ojs/index.php/Inventum/article/view/9/9#>
- Pinilla Ortiz, J. W. (2008). El futuro del vuelo no convencional. Recuperado el 23 de agosto de 2017, de <http://www.colombiaaprende.edu.co/html/docentes/1596/article-169055.html>
- Platenius, M. C., Von Detten, M., & Becker, S. (2012). Archimatrix: Improved software architecture recovery in the presence of design deficiencies. *Proceedings of the European Conference on Software Maintenance and Reengineering, CSMR*, 255–264. <https://doi.org/10.1109/CSMR.2012.33>
- Poppendieck, M., & Cusumano, M. A. (1991). Lean Software Development : A Tutorial (pp. 26–32).
- Portela-Bens, S., Laiz, I., Gallego García, R. J., Cabrera Castro, R., & Barbero, L. (2017). El uso de drones en la Investigación en Ciencias Naturales. *Libro Resúmenes. I Semana de la Ciencia. ACERCANDO EL MAR Y EL MEDIO AMBIENTE*. 38 pp. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10498/19252>
- Poza Luján, J. L. (2012). *Propuesta de arquitectura distribuida de control inteligente basada en políticas de calidad de servicio. Tesis Doctoral*. Universidad Politécnica de Valencia. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10251/14674>
- Pressman, R. (2010). *Ingeniería del software. Un enfoque práctico* (Séptima ed). McGraw Hill.
- Purcaru, D., & Gordan, I. M. (2017). Study , Testing and Application of Proximity Sensors for Experimental Training on Measurement Systems, 263–266.
- Python. (2017). Python 3.5.4 Documentation. Recuperado el 28 de octubre de 2017, de <https://docs.python.org/3.5/>
- Radu, A., Costan, A., Iancu, B., Dadarlat, V., & Peculea, A. (2015). Intercloud platform for connecting and managing heterogeneous services with applications for e-health.
- Real, A. (2016). Aplicaciones de la Tecnología Nuclear. Recuperado el 19 de febrero de

- 2018, de http://www.foronuclear.org/images/stories/recursos/energianuclear/2016/Aplicacion_es_tecnologia_nuclear_Dr._Almudena_Real.pdf
- Redis Labs. (2017). Redis. Recuperado el 31 de agosto de 2017, de <https://redis.io/>
- Reina, Y., Aguilera, M., Orozco, A., Yabrudi, J., & Barcos, R. (2013). Composición De La Economía De La Región Caribe De Colombia. *Banco de la República*, 53, 66. Recuperado de http://www.banrep.gov.co/sites/default/files/publicaciones/archivos/eser_53_caribe_2013.pdf
- Rodin, R., & Štajduhar, I. (2017). The Challenge of Measuring Distance to Obstacles for The Purpose of Generating a 2-D Indoor Map Using an Autonomous Robot Equipped with an Ultrasonic Sensor, 1212–1217.
- Romero, A. C., Sanabria, J. S. G., & Cuervo, M. C. (2012). Utilidad y funcionamiento de las bases de datos NoSQL. *Revista Facultad de Ingeniería, UPTC*, 21(33), 21–32. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Romero Galán, A. (2015). *Revisión y Modificación del Firmware de Libre Acceso ArduCopter para su uso en el Proyecto AirWhale*. Universidad de Sevilla.
- Rondero, C., & Font, V. (2015). Articulación de la complejidad matemática de la media aritmética. *Enseñanza de las Ciencias*, 33(2), 29–49. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1386>
- Ruiz Peláez, J. G., & Rodríguez Malagón, M. N. (2015). Población y muestra. *Epidemiología Clínica: Investigación clínica aplicada*, 62–66.
- Rusia, J., Naugarhiya, A., Majumder, S., Majumdar, S., Acharya, B., & Verma, S. (2017). Remote Temperature & Humidity Sensing through ASK modulation technique. *Proceedings of 2016 International Conference on ICT in Business, Industry, and Government, ICTBIG 2016*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICTBIG.2016.7892642>
- Saboury, A. (2014). TL-OSR , a Low Cost Mobile Robot with Open-source Technology Based on Sensor Fusion.
- Sáinz, M., Iñigo, M., Raquel, M., & Sanz, M. (2013). El control de la reputación online para prevenir y gestionar una crisis. *Telos análisis*, 98. Recuperado de http://telos.fundaciontelefonica.com/docs/2013/11/11/11400001_4_4_0.pdf
- Sánchez, C., Rodríguez, F., Collante, E., & Simbaqueva, O. (2005). Atlas de radiación solar de Colombia. ... , *HIMAT, Bogotá, Colombia*, 13–22. Recuperado de <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Atlas+de+Radiaci+n+Solar+de+Colombia#0>
- Sánchez, G., Nova, J., De La Hoz, F., & Castañeda, C. (2011). Incidencia de cáncer de piel en Colombia, años 2003-2007. *Piel*, 26(4), 171–177. <https://doi.org/10.1016/j.piel.2010.10.028>
- Sanchez, L., Galache, J. A., Gutierrez, V., Hernandez, J. M., Bernat, J., Gluhak, A., & Garcia, T. (2011). SmartSantander: The meeting point between Future Internet research and experimentation and the smart cities. *Future Network & Mobile Summit Conference Proceedings*, (September 2014), 978–1.

- Sanders, D. A. (2017). Using Self-Reliance Factors to Decide How to Share Control Between Human Powered Wheelchair Drivers and Ultrasonic Sensors. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 25(8), 1221–1229. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2016.2620988>
- Santibáñez, L. Q. (s/f). Empleo de vehículos no tripulados en la investigación científica antártica, 16–23.
- Schmüller, J. (2000). *Aprendiendo UML en 24 horas*. (Prentice Hall, Ed.).
- Schwaber, K. (2004). *Agile Project Management with Scrum* (Vol. 7). <https://doi.org/10.1201/9781420084191-c2>
- Scragg, R. K. R., Stewart, A. W., McKenzie, R. L., Reeder, A. I., Liley, J. Ben, & Allen, M. W. (2017). Sun exposure and 25-hydroxyvitamin D3 levels in a community sample: Quantifying the association with electronic dosimeters. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 27(5), 471–477. <https://doi.org/10.1038/jes.2016.51>
- Seed Studio. (s/f). Grove - Sensor UV. Recuperado el 23 de agosto de 2017, de http://wiki.seeed.cc/Grove-UV_Sensor/
- Seguin, K. (2012). *The Little Redis Book*. Recuperado de <http://raulexposito.com/documentos/redis/redis.pdf>
- Sekiya, M., & Yamasaki, M. (2016). Rolf Maximilian Sievert (1896–1966): father of radiation protection. *Radiological Physics and Technology*, 9(1), 1–5. <https://doi.org/10.1007/s12194-015-0330-5>
- Serrano Castaño, C. E. (2002). *Modelo integral para el profesional en ingeniería*. (Universidad del Cauca, Ed.).
- Shah, H., Shrimali, R., & Parikh, V. (2016). Header Compression and Neighbor Discovery in 6LoWPAN based IoT - A survey. *Proceedings of the 2016 IEEE International Conference on Wireless Communications, Signal Processing and Networking, WiSPNET 2016*, 306–311. <https://doi.org/10.1109/WiSPNET.2016.7566144>
- Shovic, J. C. (2016). *Raspberry Pi IoT Projects*. <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-1377-3>
- Siebel, O. F., Saraiva, C. W. C., Ramirez-Fernandez, F. J., Schneider, M. C., & Galup-Montoro, C. (2016). A low-cost microcontrolled dosimeter based on CD4007 devices for in vivo radiotherapy applications. En *2016 IEEE 7th Latin American Symposium on Circuits & Systems (LASCAS)* (pp. 267–270). IEEE. <https://doi.org/10.1109/LASCAS.2016.7451061>
- Siegel, R., Miller, K., & Jemal, A. (2017). *Datos y Estadísticas sobre el Cáncer entre los hispanos/latinos*. American Cancer Society.
- Silva González, K. J. (2015). *Diseño y estudio de factibilidad económica de un prototipo de sistema aéreo no tripulado de vigilancia*. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Singhania, P. (s/f). Autonomous Object Tracking and Obstacle Avoiding Multicopter, 1–11.
- Skvarca, J., & Aguirre, A. (2006). Normas y estándares aplicables a los campos electromagnéticos de radiofrecuencias en América Latina: guía para los límites de exposición y los protocolos de medición. *Revista Panamericana de Salud Pública*,

- 20(2–3), 205–212. <https://doi.org/10.1590/S1020-49892006000800017>
- Smolyanskiy, N., Kamenev, A., Smith, J., & Birchfield, S. (2017). Toward Low-Flying Autonomous MAV Trail Navigation using Deep Neural Networks for Environmental Awareness. *Iros*. Recuperado de <http://arxiv.org/abs/1705.02550>
- Stallman, R. M. (2004). *Software libre para una sociedad libre. Mapas* (Vol. 9). Recuperado de <http://biblioweb.sindominio.net/pensamiento/softlibre/softlibre.pdf>
- Suarez Fernandez, B. (2017). *Diseño y Marketing de una App y una Web para Trail Running*. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10609/59667>
- Sutiono, M., Nugroho, H., & Karyono, K. (2016). Appliance Hub : A Wireless Communication System for Smart Devices (Case Study : Smart Rice Cooker), (978), 125–130.
- Tabarraie, Y., Refahi, S., Dehghan, M.H., Mashoufi, M. (2008). Impact of High Natural Background Radiation on Woman's Primary Infertility. *Research Journal of Biological Sciences*, 534–536.
- Tarkoma, S., & Ailisto, H. (2013). The internet of things program: the finnish perspective. *IEEE Communications Magazine*, 51(3), 10–11. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2013.6476854>
- Terry, J. B. (2014). The Internet of Things (fka M2M) is finally reaching a take off point. Recuperado el 27 de noviembre de 2017, de <http://aberdeeninvestment.com/the-internet-of-things-fka-m2m-is-finally-reaching-a-take-off-point/>
- Tilkov, S., & Verivue, S. V. (2010). Node.js : Using JavaScript to Build High-Performance Network Programs. *IEEE Internet Computing*, 14(6), 80–83.
- Tobergte, D. R., & Curtis, S. (2013). Guia basica para entender la estructura y funcionamiento de la computacion en a nube. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- TOISAD. (2012). Portable Contador Geiger Montado DIY Kit Detector de Radiación Nuclear Con Miller tubo tubo GM Beta Gamma ray de diy geiger counter fiable proveedores en Monday CNC Machine Parts Store. Recuperado el 22 de diciembre de 2017, de https://es.aliexpress.com/store/product/Portable-Handle-Geiger-Counter-Assembled-DIY-Kit-Nuclear-Radiation-Detector-With-Miller-tube-GM-tube-Gamma/516903_32602058321.html?spm=a219c.search0104.3.2.8ijmoc&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_5_10152_1006
- Topol, E., & Teirstein, P. (2016). *Textbook of Interventional Cardiology*. (Elseiver, Ed.) (7th Editio). Philadelphia.
- Torres O., J. I., & Salazar, J. A. (2005). Modelamiento y simulación de campo magnético a frecuencia extremadamente baja en circuitos secundarios. *Scientia et Technica*, 3(29), 37–41.
- Torres Pardo, J. C. (2017). *Definición de una Arquitectura de Referencia para Sistemas de Información en Redes de Sensores Inalámbricos Ubicuos basado en calidad de servicio. Trabajo de Opción de Grado de Maestría*. Universidad Nacional de Colombia.
- Torricelli, E. (s/f). Definición Barómetro, 12–13.

- Tsoufanidis, N., & Landsberger, S. (2015). *Measurement & Detection Of Radiation*. (CRC Press, Ed.) (4th Editio). Taylor & Francis Group.
- Universidad de Castilla de la Mancha. (2015). Física. Radiaciones. Recuperado el 10 de febrero de 2018, de https://previa.uclm.es/profesorado/ajbarbero/Farmacia/T12_Radiaciones.pdf
- Valverde André, I., Cózar León, R., González Vasserot, M., & Díaz Infante, E. (2017). Exposición de las cardiólogas intervencionistas a radiaciones ionizantes durante el embarazo. ¿Realmente es necesario? *Revista Espanola de Cardiologia*, 70(7), 613–614. <https://doi.org/10.1016/j.recesp.2017.01.008>
- Vélez, A., & Calvo, G. (1992). *La investigación documental. Estado del arte y del conocimiento. Análisis de la investigación en la formación de investigadores*. Universidad de la Sabana.
- Vidal, F. S., Barcelos, A. de O. P., & Rosa, P. F. F. (2015). SLAM solution based on particle filter with outliers filtering in dynamic environments. En *2015 IEEE 24th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE)* (pp. 644–649). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ISIE.2015.7281544>
- Virreira, M. A. (s/f). Elementos y Equipos Electricos. *Elementos y Equipos Electricos*, 202–219. Recuperado de http://www.efn.uncor.edu/departamentos/electrotecnia/cat/eye_archivos/apuntes/a_practico/CAP_9_Pco.pdf
- Vitorero Udías, F. (2013). *Caracterización de detectores semiconductores de radiación ionizante. Trabajo de Opción de Grado en Ingeniería de Telecomunicación*. Universidad de Cantabria. Recuperado de <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/2571/356315.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Vizcaíno, J. M. (2015). Sistema de monitoreo, vigilancia y control mediante el uso de drones para los campos agrícolas-Tulcán. Recuperado de <http://dspace.uniandes.edu.ec/handle/123456789/1636>
- Voigt, B. J. J. (2004). *Dynamic System Development Method*. Department of Information Technology - University of Zurich.
- Walpole, R. E., Myres, R. H., Myres, S. L., & Ye, K. (2012). *Introduction to statistics and data analysis. Probability & Statistics for Engineers & Scientists*. <https://doi.org/10.1073/pnas.0703993104>
- Watthanawisuth, N., Maturros, T., Sappat, A., & Tuantranont, A. (2015). The IoT wearable stretch sensor using 3D-Graphene foam. *2015 IEEE SENSORS - Proceedings*, 3–6. <https://doi.org/10.1109/ICSENS.2015.7370275>
- Weber, R. H., & Weber, R. (2010). *Internet of Things. Development*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-11710-7>
- Weiser, M. (1991). The computer for the 21st century. *Scientific American (International Edition)*, 265(3), 66–75. <https://doi.org/10.1038/scientificamerican0991-94>
- Wharton, J. R., & Cockerell, C. J. (1998). The sun: A friend and enemy. *Clinics in Dermatology*, 16(4), 415–419. [https://doi.org/10.1016/S0738-081X\(98\)00014-5](https://doi.org/10.1016/S0738-081X(98)00014-5)

- WHO. (1994). Health and Environmental Effects of Ultraviolet Radiation: A Scientific Summary of Environmental Health Criteria 160 Ultraviolet Radiation ((WHO/EHG/95.16). *World Health Organization*.
- Wolf, W. H. W. H. (1994). Hardware-software co-design of embedded systems. *Proceedings of the IEEE*, 82(7), 967–989. <https://doi.org/10.1109/5.293155>
- Wondergem, J. (2010). *Radiation biology: a handbook for teachers and students*. (International Atomic Energy Agency, Ed.). Vienna: International Atomic Energy Agency.
- Woods, J., McDonald-maier, K., & Alheeti, K. M. A. (2017). An Intrusion Detection Scheme for Driverless Vehicles Sensor Profiling, 2–3.
- Wright State University. (s/f). RADIATION SAFETY: Definitions and Conversion Factors. *Health (San Francisco)*, 3–5.
- Wrixon, A. D., Barraclough, I., & Clark, M. J. (2004). Radiation, people and the environment. En *the IAEA Division of Public Information* (p. 54). IAEA.
- Xu, H., Guo, X., Ma, C., & Wen, C. (2010). Continuous path detection method of intelligent track-searching vehicle based on photoelectric sensor. *Proceedings of the World Congress on Intelligent Control and Automation (WCICA)*, 5279–5282. <https://doi.org/10.1109/WCICA.2010.5554845>
- Yasuda, H., & Fujitaka, K. (2001). Cosmic Radiation Protection Dosimetry Using an Electronic Personal Dosemeter (Siemens EPD) on Selected International Flights. *Journal of Radiation Research*, 42(1), 57–68. <https://doi.org/10.1269/jrr.42.57>
- Zaliva, V., & Franchetti, F. (2014). Barometric and GPS Altitude Sensor Fusion. *2014 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, 7575–7579. <https://doi.org/10.1109/ICASSP.2014.6855063>
- Zaslavsky, A., Perera, C., & Georgakopoulos, D. (2012). Sensing as a Service and Big Data. *Proceedings of the International Conference on Advances in Cloud Computing (ACC-2012)*, 21–29. <https://doi.org/10.1109/ARXIV.1301.0159>
- Zavala, J. (2004). ¿Por Qué Fracasan los Proyectos de Software?; Un Enfoque Organizacional. *Congreso Nacional de Software Libre*, (February 2004), 1–21. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4741.3206>
- Zhang, L., Gao, H., & Kaynak, O. (2013). Network-induced constraints in networked control systems-A survey. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 9(1), 403–416. <https://doi.org/10.1109/TII.2012.2219540>
- Zhang, W., Wang, C., Chen, D., Minamihisamatsu, M., Morishima, H., Yuan, Y., ... Hayata, I. (2003). Imperceptible effect of radiation based on stable type chromosome aberrations accumulated in the lymphocytes of residents in the high background radiation area in China. *Journal of radiation research*, 44(1), 69–74. <https://doi.org/10.1269/jrr.44.69>
- Zhou, G., Fang, L., Tang, K., Zhang, H., Wang, K., & Yang, K. (2015). Guidance: A visual sensing platform for robotic applications. *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops, 2015-Octob*, 9–14. <https://doi.org/10.1109/CVPRW.2015.7301360>

Zhu, Q., Wang, R., Chen, Q., Liu, Y., & Qin, W. (2010). IOT Gateway: Bridging Wireless Sensor Networks into Internet of Things. En *2010 IEEE/IFIP International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing* (pp. 347–352). IEEE. <https://doi.org/10.1109/EUC.2010.58>

Anexos

Anexo A

ESPECIFICACION DE REQUERIMIENTOS

a) Requerimientos Funcionales

1. Requisitos Generales

- 1.1** El sistema debe permitir la capturar y mostrar los datos recolectados en los diferentes medidores, tales como contador Geiger Müller, para radiaciones ionizantes, termómetro, para temperatura, barómetro en presión, higrómetro en humedad, UV, sistema de posicionamiento global (GPS).
- 1.2** El sistema debe ayudar al dron a detectar obstáculos con la ayuda de medidor LIDAR.

2. Medidores

- 2.1** El sistema para registrar cada medición debe etiquetar el nombre de la medición y la descripción, siempre y cuando no haya mediciones en cursos.
- 2.2** El sistema debe permitir actualizar una medición si está en curso o no.
- 2.3** El sistema listará y mostrará en detalle cada una de las mediciones.
- 2.4** Las mediciones son imborrables, sólo el usuario administrador de la base de datos puede cambiar el estado.
- 2.5** La búsqueda de mediciones a través de filtros, se hará teniendo en cuenta nombre, id, fecha y estado de la medición. El id se calcula teniendo en cuenta el número de registros, no puede ser vacío. Adicionalmente es auto incrementable.
- 2.6** Todos los campos descritos deben ser proporcionados, al registrar el medidor excepto el estado, que es calculado. El estado por defecto al momento del registro debe ser activo.
- 2.7** El sistema debe ofrecer la opción de modificar un medidor.

2.8 El sistema no ofrecerá la opción de eliminar un medidor previamente registrado. Solo el usuario administrador de la base de datos puede por medio de un procedimiento, cambiar el estado del medidor.

2.9 El sistema brindará al operario, la función para consultar un medidor por:

- Nombre
- Estado
- Referencia

3. Graficas

3.1 Se visualizará la información recolectada por cada medidor por medio de gráficas.

3.2 Las gráficas se generarán en los formatos, JPG, PNG, PDF, SVG

3.3 Se visualizará en un mapa, las ubicaciones de las misiones, al igual que los índices de radiación en las zonas de medición.

4. Configuraciones Del Sistema

4.1 Usuarios

4.1.1 Se asignará al administrador y operarios, nombre de usuario y una contraseña.

4.1.2 Para los usuarios visitantes se debe ingresar al sistema por medio de registro al sistema por correo electrónico.

4.1.3 Los usuario administrador y operario debe tener un código (ID) único que se asigna al momento de registrar el usuario en el sistema.

4.2 Perfiles

4.2.1 Perfil del administrador

4.2.1.1 Solo un usuario administrador puede añadir usuarios al sistema.

4.2.1.2 Puede modificar la información personal y el estado.

4.2.1.3 Tendrá acceso a todos los módulos y funciones del sistema.

4.2.2 Perfil operario

4.2.2.1 Registrar nuevas mediciones en el sistema.

4.2.2.2 Ver las mediciones y modificarlas.

4.2.2.3 Consultar el estado de los medidores y las mediciones.

4.2.2.4 El operador puede gestionar (mediciones, medidores y visualizar las gráficas).

4.2.3 Perfil visitante

4.2.3.1 Visualizar y consultar toda la información de las mediciones y medidores.

4.2.3.2 No tendrá acceso a modificar la información de ningún modulo.

5. Seguridad

5.1 La contraseña debe tener, como mínimo 8 caracteres alfanuméricos.

5.2 Sensible a mayúsculas y minúsculas.

5.3 Un usuario solo puede iniciar una sesión al tiempo.

5.4 Cada administrador y operario debe tener un nombre de usuario único.

5.5 El sistema solo permitirá el ingreso de dos roles (administrador, visitante, y operario).

b) Requerimientos no funcionales

1. Rendimiento.

1.1 El sistema debe ser compatible con todos los navegadores.

1.2 El sistema debe estar disponible las 24 horas.

1.3 El sistema debe por lo menos 1GB de RAM.

2. Facilidad de Uso.

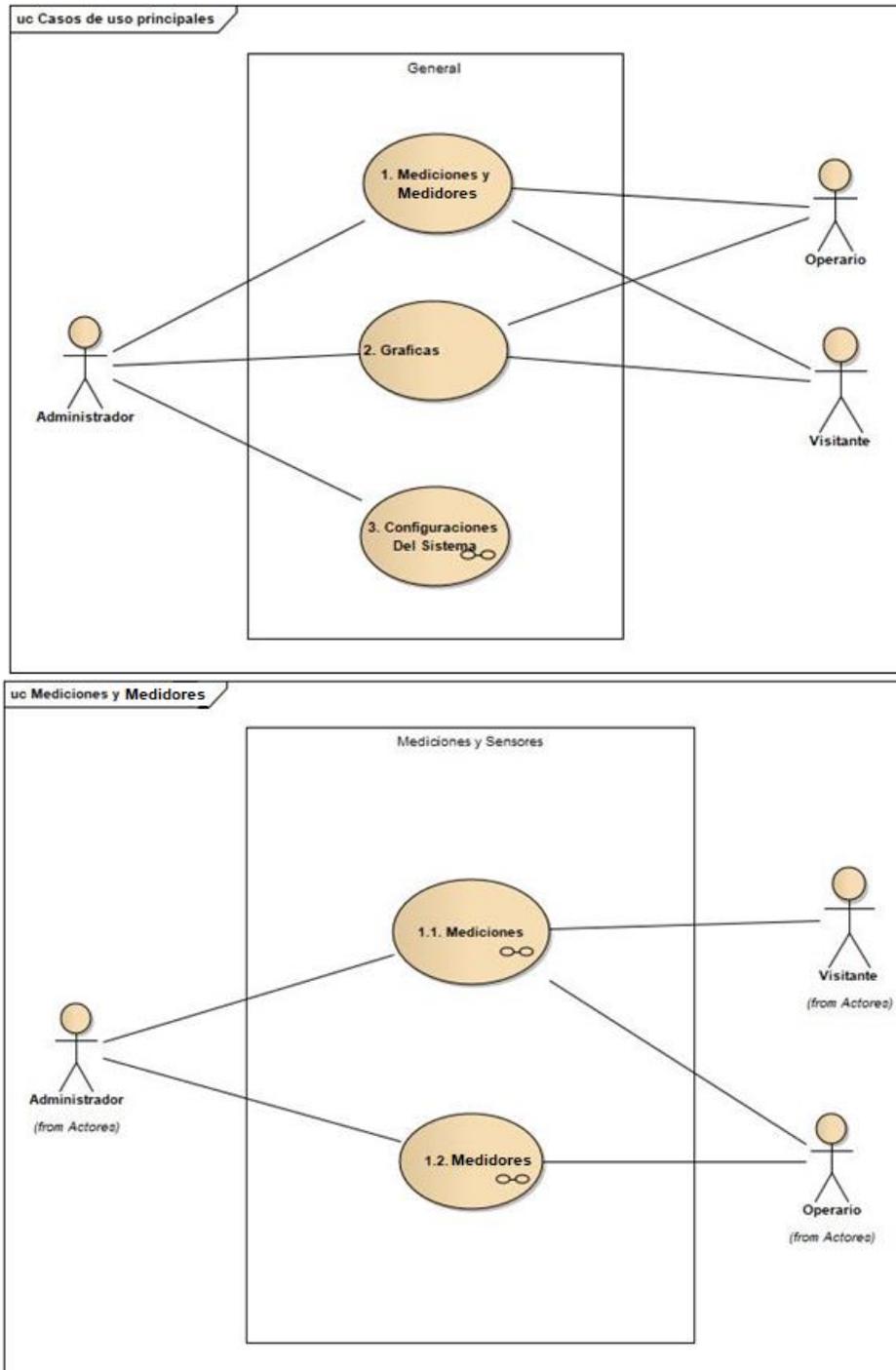
2.1 La interfaz implementada debe ser fácil de utilizar y tener interfaces con gráficas, que permitan la identificación rápida de la información obtenida a través de las misiones.

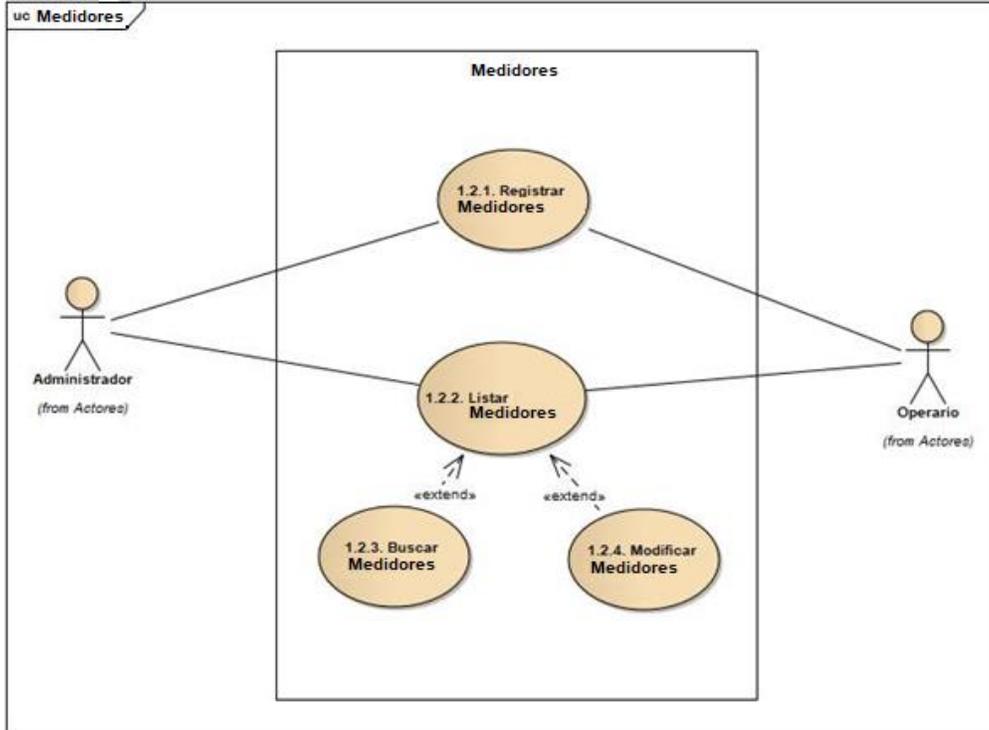
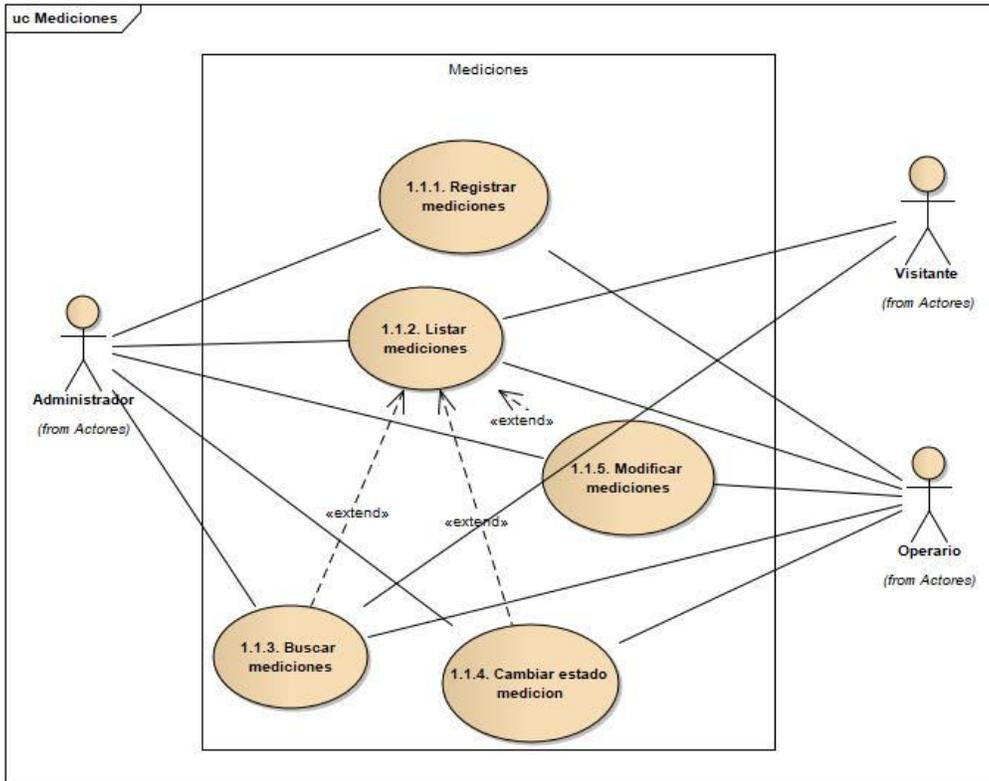
3. Capacidad de Soportar cambios.

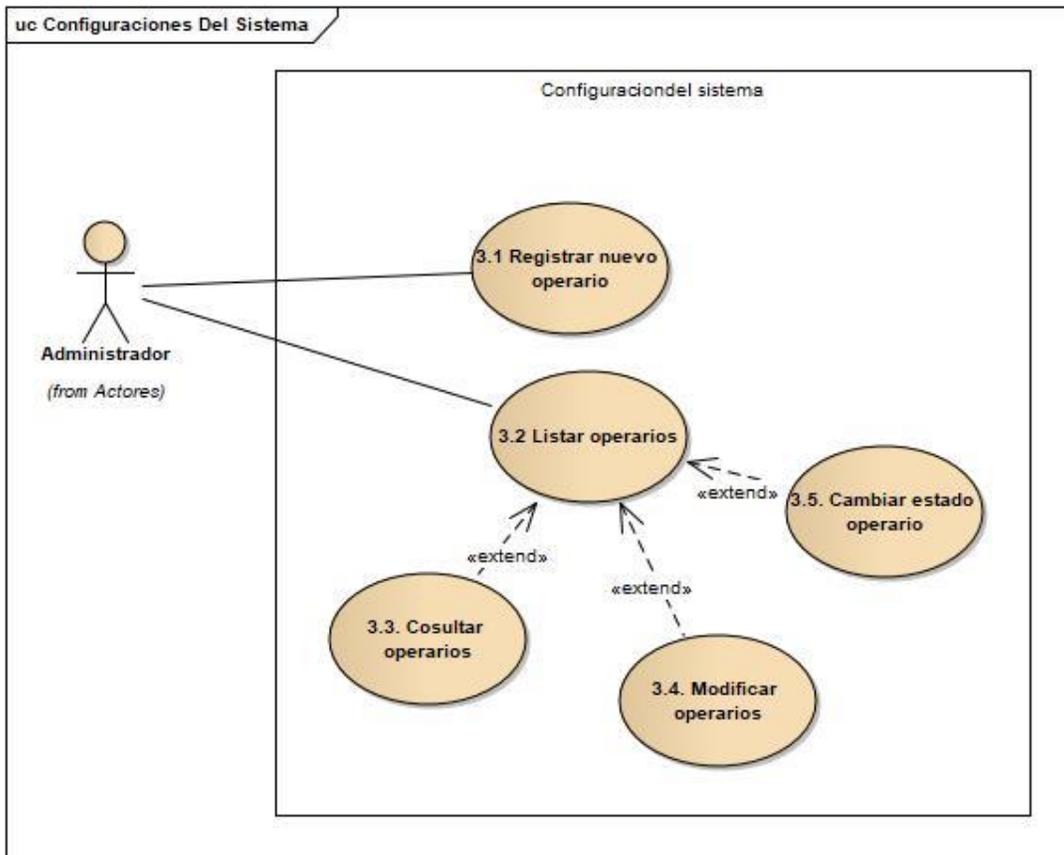
3.1 El sistema debe permitir realizar cambios no significativos, en la navegabilidad, nuevos campos o validaciones.

Anexo B

DIAGRAMAS DE CASOS DE USO







Anexo C

DICCIONARIO DE DATOS

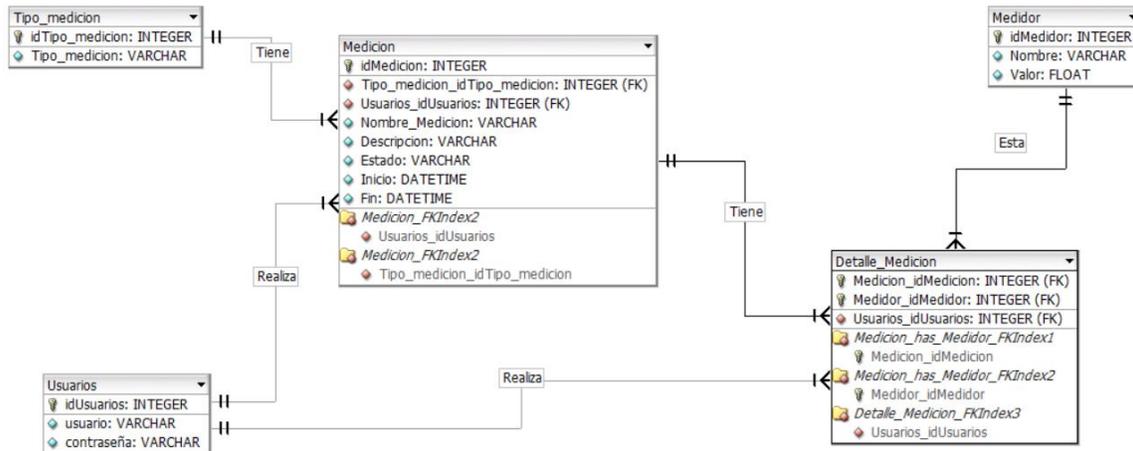


TABLA Tipo_medicion			
NOMBRE	TIPO	DESCRIPCION	VALIDACION
IdTipo_medicion	INTEGER	Clave primaria de la tabla.	Entrada obligatoria y única
Tipo_medicion	VARCHAR	Nombre del tipo de medición.	Entrada obligatoria

TABLA Usuarios			
NOMBRE	TIPO	DESCRIPCION	VALIDACION
IdUsuario	INTEGER	Clave primaria de la tabla.	Entrada obligatoria y única
Usuario	VARCHAR	Nombre del usuario	Entrada obligatoria
contraseña	VARCHAR	Contraseña del usuario.	Entrada obligatoria y mínimo 8 caracteres.

TABLA Medicion			
NOMBRE	TIPO	DESCRIPCION	VALIDACION
Tipo_medicion_IdTipo_medicion	INTEGER	Clave foránea traída de la tabla Tipo_medicion.	única
Usuarios_IdUsuarios	INTEGER	Clave foránea traída de la tabla Usuarios, para saber el usuario	única

		que registra la medición.	
idMedicion	INTEGER	Clave primaria de la tabla.	Entrada obligatoria y única
Nombre_Medicion	VARCHAR	Nombre de la medición.	Entrada obligatoria
Descripción	VARCHAR	Breve descripción de lo que se va a hacer en la medición.	Entrada obligatoria
Estado	VARCHAR	Estado de la medición, su estado por defecto es ACTIVA.	Entrada obligatoria y si hay otra medición con estado ACTIVA no dejara crearla.
Inicio	DATETIME	Fecha y hora de la creación de la medición.	Entrada obligatoria
Fin	DATETIME	Fecha y hora en que se termina la medición.	Entrada obligatoria

TABLA Medidor			
NOMBRE	TIPO	DESCRIPCION	VALIDACION
IdMedidor	INTEGER	Clave primaria de la tabla.	Entrada obligatoria y única
Nombre	VARCHAR	Nombre del sensor	Entrada obligatoria
Valor	FLOAT	Datos recolectados por los sensores.	El valor será enviado desde el servicio.

Anexo D

```
#include "lib/Adafruit_SSD1306.h"
#include "lib/Adafruit_GFX.h"
#include "lib/Adafruit_DHT.h"
#include "lib/SI114X.h"

#define OLED_RESET D1
#define DHTPIN D2
#define DHTTYPE DHT11
#define LOG_PERIOD 15000
#define MAX_PERIOD 60000

unsigned long counts;
unsigned long cpm;
unsigned int multiplier;
unsigned long previousMillis;
int cell_bars = 0;
char jsonString[200];
int sample = 0;

SI114X SI1145 = SI114X();
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
Adafruit_SSD1306 display(OLED_RESET);

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  beginUVSensor();
  beginTEMPSensor();
  beginGeigerSensor();
  beginDisplay();

  Particle.variable("onData", jsonString, STRING);
}

void setGeigerTubeImpulse(){
  counts++;
}

void beginGeigerSensor(){
  counts = 0;
}
```

```

cpm = 0;
multiplier = MAX_PERIOD / LOG_PERIOD;
pinMode(D5, INPUT);
attachInterrupt(D5, setGeigerTubeImpulse, FALLING);
}

```

```

void beginTEMPSensor(){
  dht.begin();
}

```

```

void beginUVSensor(){
  while (!SI1145.Begin()) {
    delay(1000);
  }
}

```

```

void beginDisplay(){
  display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C);
  display.display();
  display.clearDisplay();
  display.setTextSize(3);
  display.setCursor(0,0);
  display.setTextColor(WHITE);
  display.println("VOYAGER");
  display.setTextSize(3);
  display.setCursor(27,30);
  display.setTextColor(BLACK,WHITE);
  display.println(" V3 ");
  display.display();
  delay(8000);
  display.clearDisplay();
}

```

```

void displayCelullarBars(){
  CellularSignal sig = Cellular.RSSI();
  int rssi = sig.rssi;

  if (rssi < 0) {
    if (rssi >= -57) cell_bars = 5;
    else if (rssi > -82) cell_bars = 4;
    else if (rssi > -94) cell_bars = 3;
    else if (rssi > -116) cell_bars = 2;
  }
}

```

```

    else if (rssi > -118) cell_bars = 1;
}

for (int b=0; b <= cell_bars; b++) {
    display.fillRect(59 + (b*5),33 - (b*5),3,b*5,WHITE);
}
display.display();
delay(2000);
display.clearDisplay();
}

void loop() {
    unsigned long currentMillis = millis();
    if(currentMillis - previousMillis > LOG_PERIOD){

        ++sample;
        previousMillis = currentMillis;
        cpm = counts * multiplier;
        counts = 0;

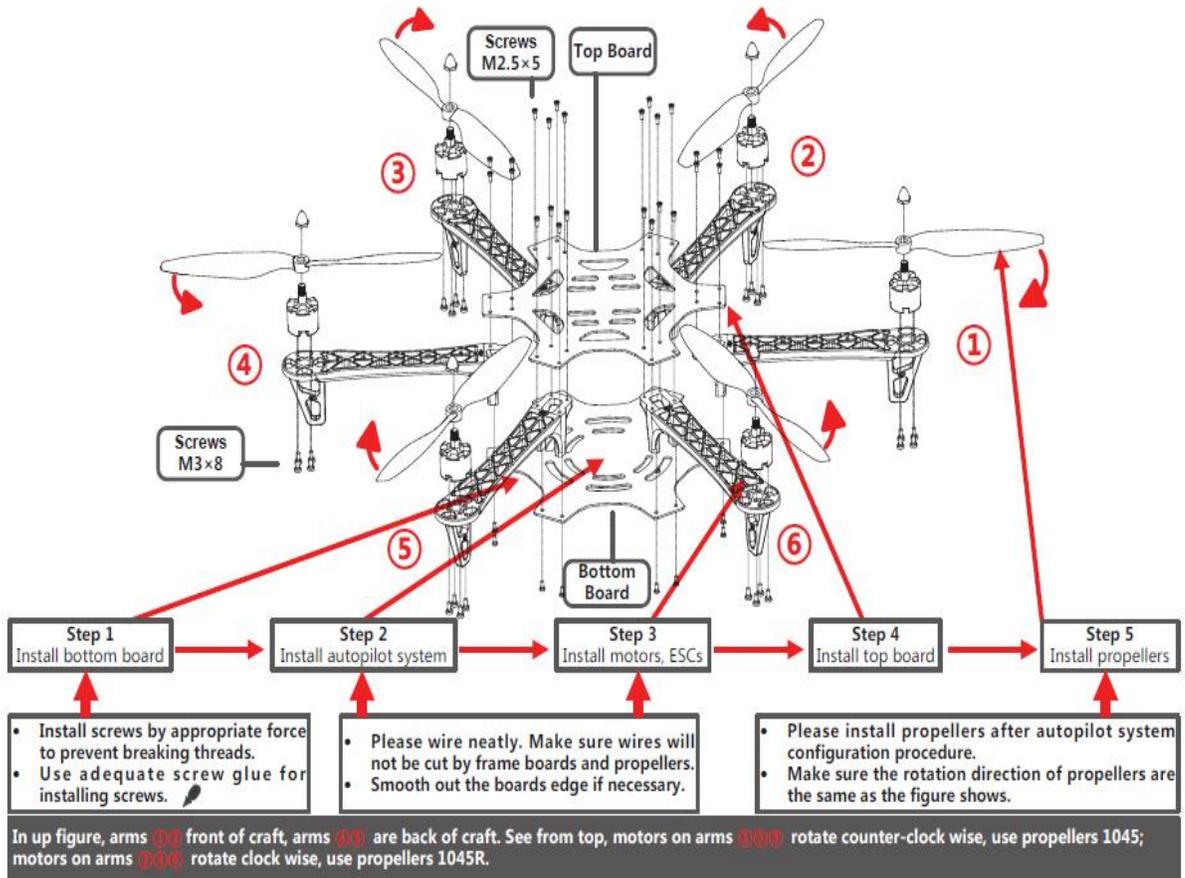
        int vis = SI1145.ReadVisible();
        int ir = SI1145.ReadIR();
        float uv = (float)SI1145.ReadUV()/100;
        int h = dht.getHumidity();
        int t = dht.getTempCelcius();
        int hi = dht.getHeatIndex();
        int dp = dht.getDewPoint();

        sprintf(jsonString,{"sample": %d, "cpm": %d, "vis": %d, "ir": %d, "uv": %f,
        "hum": %d, "temp": %d, "hi": %d, "dp": %d}, sample, cpm, vis, ir, uv, h, t, hi, dp);
        Particle.publish("onData", jsonString);
    }
}

```

Anexo E

Assembly



Anexo F

LIDAR Lite V3:

```
import smbus
import time

class Lidar_Lite():
    def __init__(self):
        self.address = 0x62
        self.distWriteReg = 0x00
        self.distWriteVal = 0x04
        self.distReadReg1 = 0x8f
        self.distReadReg2 = 0x10
        self.velWriteReg = 0x04
        self.velWriteVal = 0x08
        self.velReadReg = 0x09

    def connect(self, bus):
        try:
            self.bus = smbus.SMBus(bus)
            time.sleep(0.5)
            return 0
        except:
            return -1

    def writeAndWait(self, register, value):
        self.bus.write_byte_data(self.address, register, value);
        time.sleep(0.02)

    def readAndWait(self, register):
        res = self.bus.read_byte_data(self.address, register)
        time.sleep(0.02)
        return res

    def getDistance(self):
        self.writeAndWait(self.distWriteReg, self.distWriteVal)
        dist1 = self.readAndWait(self.distReadReg1)
        dist2 = self.readAndWait(self.distReadReg2)
        return (dist1 << 8) + dist2

    def getVelocity(self):
```

```
self.writeAndWait(self.distWriteReg, self.distWriteVal)
self.writeAndWait(self.velWriteReg, self.velWriteVal)
vel = self.readAndWait(self.velReadReg)
return self.signedInt(vel)
```

```
def signedInt(self, value):
    if value > 127:
        return (256-value) * (-1)
    else:
        return value
```

Servomotor:

```
#!/usr/bin/env python
import RPi.GPIO as GPIO
from time import sleep
import atexit

class Servo():

    def start(self):
        GPIO.setmode(GPIO.BCM)
        GPIO.setup(14, GPIO.OUT)
        self.pwm = GPIO.PWM(14, 50)
        self.pwm.start(0)

    def set_angle(self, angle):
        duty = angle / 18 + 2
        GPIO.output(14, True)
        self.pwm.ChangeDutyCycle(duty)
        sleep(0.3)
        GPIO.output(14, False)
        self.pwm.ChangeDutyCycle(0)

    def stop(self):
        self.pwm.stop()
        GPIO.cleanup()

    def turn_180(self):
        while True:
            self.set_angle(0)
            self.set_angle(90)
```

```

        self.set_angle(180)
        self.set_angle(90)

s = Servo()
s.start()
s.turn_180()

def exit_handler():
    print 'Stopping servo!'
    s.stop()

atexit.register(exit_handler)

```

Aplicación LIDAR + ServoMotor:

```

from flask import Flask, render_template
from flask_socketio import SocketIO, emit
from threading import Lock
from lidar import Lidar_Lite
import os
import signal
import subprocess

async_mode = None

app = Flask(__name__)
app.config['SECRET_KEY'] = '23dfgmdfgm345!'
socketio = SocketIO(app, async_mode=async_mode)
thread = None
servo_pro = None
thread_lock = Lock()

lidar = Lidar_Lite()
connected_l = lidar.connect(1)

def background_lidar_thread():
    while True:
        if connected_l < -1:
            socketio.emit('lidar_response', {'data': 'lidar_cm', 'cm': "Not Connected"})
        else:
            while (connected_l >= 0):
                dist = lidar.getDistance()

```

```

        socketio.sleep(0.1)
        socketio.emit('lidar_response', {'data': 'lidar_cm', 'cm': dist})

@socketio.on('ServoOn-Off')
def servo_control(estado):
    global servo_pro
    if estado and servo_pro is None:
        servo_pro = subprocess.Popen("./servo.py", stdout=subprocess.PIPE, shell=True,
preexec_fn=os.setsid)
    else:
        os.killpg(os.getpgid(servo_pro.pid), signal.SIGTERM)
        servo_pro = None

@socketio.on('connect')
def test_connect():
    global thread
    with thread_lock:
        if thread is None:
            thread = socketio.start_background_task(target=background_lidar_thread)
            emit('reps', {'data': 'Connected', 'count': 0})

if __name__ == '__main__':
    socketio.run(app, host="0.0.0.0", debug=True, port=8080)

```

Anexo G

```
var express = require('express'),
    app = express(),
    http = require('http').Server(app),
    io = require('socket.io')(http),
    path = require('path'),
    firebase = require("firebase-admin"),
    serviceAccount = require("./firebasekey.json"),
    EventSource = require('eventsourcing');

firebase.initializeApp({
  credential: firebase.credential.cert(serviceAccount),
  databaseURL: "https://voyager01.firebaseio.com"
});

var refS = firebase.database().ref('samples/')

http.listen(3000, function() {
  console.log('Servidor escuchando en puerto 3000');
});

app.use('/static', express.static('static'))

app.get('/', function(req, res) {
  res.sendFile(__dirname + '/templates/data.html');
});

app.get('/data.json', function(req, res) {
  res.sendFile(__dirname + '/data.json');
});

app.get('/graph', function(req, res) {
  res.sendFile(__dirname + '/templates/graph.html');
});

var sockets = {};
```

```

io.on('connection', (socket) => {
  sockets[socket.id] = socket;
  console.log("Clientes conectados ", Object.keys(sockets).length);
});

function writeSampleData(sensors, published_at) {
  refS.push({"sensors": sensors, "published_at": published_at});
}

function connectToParticle(deviceID, accessToken) {
  console.log('Conectando a Particle ..')

  const API_URL = 'https://api.spark.io/v1/devices/'

  var eventSource = new EventSource(API_URL + deviceID +
  "/events/?access_token=" + accessToken);

  eventSource.addEventListener('open', (e) => {
    console.log("Opened!"); },false)

  eventSource.addEventListener('error', (e) => {
    console.log("Errored!"); },false)

  eventSource.addEventListener('onData', (e) => {
    var rawData = JSON.parse(e.data);
    var parsedData = JSON.parse(rawData.data);
    console.log('Nueva muestra', parsedData);
    writeSampleData(parsedData, rawData.published_at);
  }, false)

  return eventSource
}

// Conectarse a el API de particle, obtener Token en https://build.particle.io
connectToParticle("", "");

```