



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**ANÁLISIS, ESTUDIO Y OPTIMIZACIÓN PARA RED METEOROLÓGICA  
AUTOMÁTICA DEL INSTITUTO NACIONAL DE SISMOLOGÍA, VULCANOLOGÍA,  
METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA, INSIVUMEH**

**Gustavo Adolfo Alvarez Villatoro**

Asesorado por el Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz

Guatemala, abril de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS, ESTUDIO Y OPTIMIZACIÓN PARA RED METEOROLÓGICA  
AUTOMÁTICA DEL INSTITUTO NACIONAL DE SISMOLOGÍA, VULCANOLOGÍA,  
METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA, INSIVUMEH**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**GUSTAVO ADOLFO ALVAREZ VILLATORO**  
ASESORADO POR EL ING. KENNETH ISSUR ESTRADA RUIZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO ELECTRÓNICO**

GUATEMALA, ABRIL DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
EXAMINADOR	Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz
EXAMINADOR	Ing. Natanael Jonathan Requena Gómez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**ANÁLISIS, ESTUDIO Y OPTIMIZACIÓN PARA RED METEOROLÓGICA  
AUTOMÁTICA DEL INSTITUTO NACIONAL DE SISMOLOGÍA, VULCANOLOGÍA,  
METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA, INSIVUMEH**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 03 de febrero de 2020.

**Gustavo Adolfo Alvarez Villatoro**



Guatemala, 15 de noviembre de 2021.  
REF.EPS.DOC.479.11.2021.

Ing. Oscar Argueta Hernández  
Director Unidad de EPS  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingeniero Argueta Hernández.

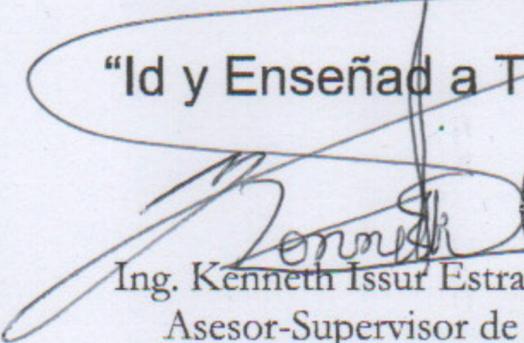
Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Gustavo Adolfo Alvarez Villatoro** de la Carrera de Ingeniería Electrónica, Registro Académico No. **201213055 y CUI 2130 35049 0101**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **“ANÁLISIS, ESTUDIO Y OPTIMIZACIÓN PARA RED METEOROLÓGICA AUTOMÁTICA DEL INSTITUTO NACIONAL DE SISMOLOGÍA, VULCANOLOGÍA, METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA, INSIVUMEH.”**.

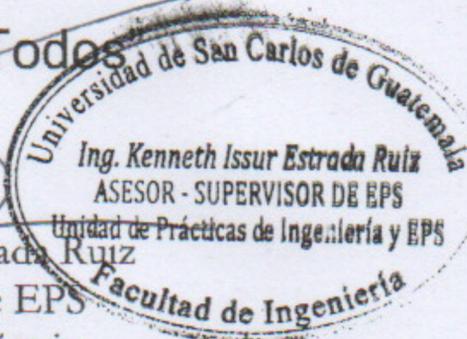
En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

**“Id y Enseñad a Todos”**

  
Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz  
Asesor-Supervisor de EPS  
Área de Ingeniería Eléctrica



c.c. Archivo  
KIER/ra

Universidad de San Carlos de  
Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Unidad de EPS

Guatemala 15 de noviembre de 2021.  
REF.EPS.D.258.11.2021.

Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo  
Director Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingeniero Rivera Carrillo.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"ANÁLISIS, ESTUDIO Y OPTIMIZACIÓN PARA RED METEOROLÓGICA AUTOMÁTICA DEL INSTITUTO NACIONAL DE SISMOLOGÍA, VULCANOLOGÍA, METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA, INSIVUMEH."** que fue desarrollado por el estudiante universitario, **Gustavo Adolfo Alvarez Villatoro**, quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor-Supervisor de EPS, en mi calidad de Director apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,  
"Id y Enseñad a Todos"



Ing. Oscar Argueta Hernández  
Director Unidad de EPS

/ra

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA

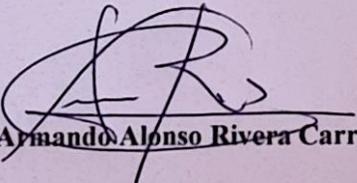


FACULTAD DE INGENIERÍA



REF. EIME 06. 2022.

**El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; GUSTAVO ADOLFO ALVAREZ VILLATORO titulado: ANÁLISIS, ESTUDIO Y OPTIMIZACIÓN PARA RED METEOROLÓGICA AUTOMÁTICA DEL INSTITUTO NACIONAL DE SISMOLOGÍA, VULCANOLOGÍA, METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA, INSIVUMEH, procede a la autorización del mismo.**

  
Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo



GUATEMALA, 8 DE FEBRERO 2,022.

Decanato  
Facultad de Ingeniería  
24189101- 24189102  
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.313.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **ANÁLISIS, ESTUDIO Y OPTIMIZACIÓN PARA RED METEOROLÓGICA AUTOMÁTICA DEL INSTITUTO NACIONAL DE SISMOLOGÍA, VULCANOLOGÍA, METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA, INSIVUMEH**, presentado por: **Gustavo Adolfo Alvarez Villatoro**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabeia Cordova Escobar



Decana

Guatemala, abril de 2022

AACE/gaoc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por darme cada oportunidad y a guiar mi camino.
<b>Mi madre</b>	Odilia Villatoro de Alvarez, por brindarme su apoyo en cada paso y siempre velar por mi bienestar.
<b>Mi padre</b>	Gustavo Alvarez, por ser mi ejemplo para seguir y demostrar que el trabajo duro da su recompensa.
<b>Mi hermana</b>	Carmen Alvarez, por tener ser siempre tener las palabras correctas para animarme.
<b>Mi sobrina</b>	Samantha González, para darte un ejemplo de estudiar y luchar por tus metas.
<b>Mi prometida</b>	Madeline Calderón, por brindarme tu amor en cada momento y motivarme a seguir adelante.
<b>Amigos</b>	Por siempre hacernos ganas.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser el Alma Mater que desde pequeño soñé en ser un profesional de esta gran universidad.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por brindar los conocimientos necesarios para ser un profesional.
<b>INSIVUMEH</b>	Por permitir desarrollarme como profesional y brindarme la oportunidad de entregar este proyecto.
<b>Ing. Kenneth Estrada</b>	Por el apoyo y seguimiento a cada proceso realizado.
<b>Mi familia</b>	Por ser los pilares en mi vida y luchar por darme siempre la mejor educación.
<b>Mis amigos</b>	Por ser un gran grupo y compartir conocimientos y logros.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN.....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN .....	XXI
1. GENERALIDADES DEL INSTITUTO NACIONAL DE SISMOLOGÍA, VULCANOLOGÍA, METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA .....	1
1.1. Historia .....	1
1.2. Misión .....	2
1.3. Visión.....	2
1.4. Estructura de la institución.....	3
1.4.1. Departamento Administrativo - Financiero.....	3
1.4.2. Departamento de Investigación y Servicios Hídricos .....	4
1.4.3. Departamento de Investigación y Servicios Meteorológicos .....	5
1.4.4. Departamento de Investigación y Servicios Geofísicos.....	5
1.5. Organigrama.....	6
2. SISTEMAS METEOROLÓGICOS.....	7
2.1. Meteorología.....	7

2.1.1.	Sensores de estaciones meteorológicas automáticas .....	8
2.1.1.1.	Temperatura .....	8
2.1.1.2.	Presión atmosférica .....	11
2.1.1.3.	Humedad .....	14
2.1.1.4.	Precipitación .....	15
2.1.1.5.	Viento .....	19
2.1.1.6.	Radiación solar .....	24
2.1.1.7.	Data logger .....	27
3.	ANÁLISIS DE LA RED METEOROLÓGICA DE LA INSTITUCIÓN .....	29
3.1.	Sistemas de observación meteorológica .....	29
3.2.	Datos presentados .....	30
3.3.	Productos de pronósticos meteorológicos .....	38
3.4.	Estaciones meteorológicas automáticas EMA .....	39
3.5.	Sistema de radar meteorológico .....	55
3.6.	Imágenes satelitales .....	60
3.7.	Análisis de los sistemas actuales .....	63
4.	ESTUDIO PARA LA ESTANDARIZACION Y MEJORA DE LA RED EMA .....	65
4.1.	Definición .....	65
4.2.	Sensores .....	66
4.2.1.	Sensor de velocidad de viento .....	67
4.2.2.	Sensor de humedad relativa del aire .....	69
4.2.3.	Sensor de temperatura del aire .....	69
4.2.4.	Sensor de precipitación .....	70
4.2.5.	Sensor de radiación solar .....	71
4.2.6.	Sensor barométrico .....	72

4.3.	Sistema de telemetría.....	73
4.3.1.	Requisitos generales .....	73
4.3.2.	Telemetría vía satélite .....	74
4.3.3.	Transmisión vía satélite GOES.....	74
4.3.4.	Antena de transmisión tipo YAGI.....	75
4.3.5.	Sistema router modem celular .....	76
4.3.6.	Data logger .....	79
4.4.	Sistema de alimentación eléctrica .....	86
4.4.1.	Baterías .....	86
4.4.2.	Alimentación eléctrica.....	87
4.5.	Sistemas complementarios.....	88
4.5.1.	Recinto de protección .....	88
4.5.2.	Torre metálica.....	89
4.5.3.	Sistema de seguridad eléctrica.....	91
4.5.4.	Cerco perimétrico .....	91
4.5.5.	Sistema de puesta a tierra.....	94
4.6.	Instalación y ensamblaje de la estación meteorológica automática.....	96
4.6.1.	Pruebas funcionales de la EMA.....	97
4.7.	Capacitación del personal de la institución.....	98
5.	RED AUTOMÁTICA OPTIMIZADA .....	101
5.1.	Implementación de plan para mejorar procesos de adquisición de datos.....	101
5.1.1.	Componentes para un área científica .....	101
5.1.2.	Mejora en el sistema de radar meteorológico .....	102
5.2.	Optimización de la red EMA .....	105
5.3.	Estudio para red basada en IoT .....	106
5.3.1.	Tecnologías de IoT .....	107

5.3.2.	MQTT .....	107
5.3.3.	Hardware.....	108
5.3.4.	Software .....	112
5.3.5.	Entrega y presentación de datos.....	115
5.4.	Nuevas tecnologías para adquisición de datos .....	117
5.4.1.	Dron .....	117
5.4.2.	Vehículo meteorológico .....	118
CONCLUSIONES.....		121
RECOMENDACIONES .....		123
BIBLIOGRAFÍA.....		125
APÉNDICES.....		129

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Organigrama de INSIVUMEH .....	6
2.	Tipos de sensores de temperatura.....	10
3.	Diagrama de sensor de temperatura.....	11
4.	Barómetro diagrama.....	13
5.	Barómetro .....	14
6.	Sensor de humedad .....	15
7.	Diagrama de pluviómetro .....	16
8.	Interruptor magnético .....	18
9.	Pluviómetro .....	19
10.	Anemómetro potenciómetro .....	20
11.	Anemómetro Adafruit .....	21
12.	Anemómetro tipo Propeller o veleta .....	22
13.	Anemómetro ultrasónico .....	23
14.	Periodo de medición y detección .....	23
15.	Pronóstico de índice ultravioleta .....	25
16.	Piranómetro.....	26
17.	Esquema de data logger .....	28
18.	Sistemas meteorológicos automáticos .....	29
19.	Estación meteorológica EMA .....	40
20.	Mapa de estaciones automáticas.....	42
21.	Data logger estación meteorológica .....	44
22.	Batería de alimentación para EMA.....	45
23.	Batería interna.....	46

24.	Módulo de comunicación GPRS .....	46
25.	Cable de comunicación RS232.....	47
26.	Protector para sensor .....	48
27.	Sensor de temperatura y humedad.....	49
28.	Sensor de precipitación .....	50
29.	Sistema de sensor de precipitación .....	51
30.	Entrada de agua sensor de precipitación.....	52
31.	Estación ubicada en plantación de banano .....	53
32.	Bodega de repuestos.....	54
33.	Radar meteorológico de INSIVUMEH.....	55
34.	Rango de onda y frecuencias .....	56
35.	Funcionamiento del radar .....	57
36.	Imagen procesada del radar meteorológico.....	58
37.	Imagen procesada en Python .....	59
38.	Satélite GOES-16 .....	60
39.	Imagen satelital banda visible .....	61
40.	Imagen satelital banda vapor de agua .....	62
41.	Imagen satelital banda infrarroja.....	63
42.	Red de sistemas de monitoreo .....	106
43.	Raspberry Pi3 Model B+ .....	109
44.	Imagen de escritorio de Raspbian .....	110
45.	Sensor MCP9808.....	111
46.	Diagrama de comunicación del broker.....	113
47.	Node-RED a sensor de temperatura.....	116
48.	Presentación de datos en Power Bi .....	116
49.	Dron para meteorología .....	117
50.	Adquisición de datos por dron .....	118
51.	Vehículo de observación meteorológica .....	119
52.	Sistemas dentro de MOVE .....	120

## TABLAS

I.	Conductor de platino .....	10
II.	Tabla de boletines meteorológicos.....	30
III.	Información de radar INSIVUMEH .....	56
IV.	Partes de una EMA .....	65
V.	Requerimientos de red .....	77
VI.	Especificaciones de alimentación eléctrica .....	78
VII.	Componentes para un área científica.....	101
VIII.	Recomendaciones para sistema de radar.....	103
IX.	Control de fallas y procedimientos .....	104



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>A</b>	Amperio
<b>bps</b>	Bits por segundo
<b>DC</b>	Corriente continua
<b>dB</b>	Decibel
<b>GHz</b>	Giga Hertz
<b>°C</b>	Grados Celsius
<b>°F</b>	Grados Fahrenheit
<b>hPa</b>	Hectopascales
<b>Hz</b>	Hertz
<b>HR</b>	Humedad relativa
<b><math>\lambda</math></b>	Lambda
<b>m/s</b>	Metro por segundo
<b>mA</b>	Miliamperio
<b>mm</b>	Milímetro
<b>ms</b>	Milisegundo
<b>T</b>	Temperatura
<b>V</b>	Volt
<b>Vcc</b>	Voltaje de alimentación
<b>Vin</b>	Voltaje de entrada
<b>Vo</b>	Voltaje de salida
<b>W/m<sup>2</sup></b>	Watt por metro cuadrado



## GLOSARIO

<b>ADSL</b>	Es una clase de tecnología que permite la conexión a Internet mediante el uso de la línea telefónica tradicional, transmitiendo la información digital de modo analógico a través del cable de pares simétricos de cobre.
<b>Baud</b>	Unidad de medida utilizada en comunicaciones. Hace referencia al número de intervalos elementales por segundo que supone una señal.
<b>Broker</b>	Es el servidor que acepta mensajes publicados por clientes y los difunde entre los clientes suscritos.
<b>Climatología</b>	Estudia la variación de los elementos meteorológicos cerca de la tierra en un área reducida.
<b>DHCP</b>	Capacidad para asignar automáticamente direcciones de red reutilizables y por la existencia de posibilidades de configuración adicionales.
<b>GND</b>	Común de la interconexión entre todos los dispositivos.
<b>GOES</b>	Satelite geoestacionario (Geostationary Operational Environmental Satellite, en inglés).

<b>GPIO</b>	Puerto de interconexiones físicas de la <i>Raspberry pi</i> , digitales, estos pueden ser configurados como entradas o salidas (general <i>prupose input/output</i> , en inglés).
<b>GPRS</b>	Paquete general de servicios vía radio ( <i>General Packet Radio Service</i> , en inglés).
<b>I2C</b>	Bus de comunicación digital síncrono, multimaestro, multiesclavo, con comunicación de paquetes de un solo extremo. ( <i>inter-integrates circuit</i> , en inglés).
<b>IDE</b>	Es el acrónimo del término inglés <i>Integrated Development Environment</i> o, lo que es lo mismo, Entorno de Desarrollo Integrado.
<b>INSIVUMEH</b>	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.
<b>IP64</b>	Nivel de protección contra el agua.
<b>KMA</b>	Administración Meteorológica de Corea.
<b>LAN</b>	Es la abreviatura de <i>Local Area Network</i> . Denomina redes con extensión física limitada.
<b>LoRa</b>	Tecnología inalámbrica que utiliza un tipo de modulación en radiofrecuencia patentado por Semtech.

<b>Meteorología</b>	Ciencia encargada del estudio de las diferentes propiedades, eventos y fenómenos que tienen lugar en la atmósfera de la tierra.
<b>microSD</b>	Formato para tarjetas de memoria <i>flash</i> ( <i>Micro Secure Digital</i> , en inglés).
<b>Mosquitto</b>	Es un protocolo de tipo suscriptor-publicador muy ligero. Generalmente, este protocolo se usa para intercambiar mensajes entre dispositivos con unos recursos limitados como memoria o ancho de banda.
<b>MySQL</b>	Gestor de bases de datos que permite la interacción diferentes lenguajes de programación.
<b>NEMA-4</b>	Instalación interior o exterior, protege contra el polvo transportado por el viento y la lluvia, salpicaduras de agua y agua proyectada; además protege contra daños ocasionados por la formación de hielo exterior sobre el armario.
<b>OS</b>	Sistema operativo.
<b>PoE</b>	La alimentación a través de Ethernet (Power over Ethernet, PoE) es una tecnología que incorpora alimentación eléctrica a una infraestructura LAN estándar.

<b>PPPoE</b>	(Point-to-Point Protocol over Ethernet o Protocolo Punto a Punto sobre Ethernet) es un protocolo de red para la encapsulación PPP sobre una capa de Ethernet.
<b>Python</b>	Lenguaje de programación de código legible.
<b>QoS</b>	Quality of Service, que en español significa calidad de servicio. El servicio QoS permite priorizar el tráfico entre varios dispositivos conectados al mismo router.
<b>SoC</b>	Sistema integrado con todos los módulos que componen un computador o cualquier otro sistema informático o electrónico ( <i>system on chip</i> , en inglés).
<b>Software</b>	Conjunto de programas y rutinas que permiten a la computadora realizar determinadas tareas.
<b>SSH</b>	Protocolo que permite el acceso remoto a un servidor por medio de un canal seguro, en el que toda la información es cifrada ( <i>Secure Shell</i> , en inglés).
<b>TCP/IP</b>	Este modelo es un protocolo para comunicación en redes que permite que un equipo pueda comunicarse dentro de una red.
<b>UV</b>	Abreviatura de radiación ultravioleta.

**WMO** Organización Meteorológica Mundial (World Meteorological Organization, en inglés).

**YAGI** Una antena Yagi es una antena direccional que consta de un elemento accionado como dipolo o dipolo plegado y elementos parásitos adicionales, típicamente un reflector y uno o más directores.



## RESUMEN

Históricamente en la meteorología se ha buscado medir las variables para su estudio y evaluación, se desarrolló la técnica de la observación de instrumentos con el fin de obtener datos y luego ser utilizados para llevar un control sobre las predicciones climáticas.

Esto fue de suma importancia porque se conocían las épocas para la siembra y cosecha de cultivos, sin embargo, esta tecnología ha mejorado desde entonces y se han ampliado los usos que se le da a los datos que se obtienen.

Lo más importante son las estaciones meteorológicas automáticas, que registran una variedad de datos según sea la necesidad, tomando las más importantes como: temperatura, humedad, viento, cantidad de lluvia, entre otros.

Con estos datos se pueden realizar modelos de predicción más exactos junto con la ayuda de otros instrumentos llamados sensores remotos, que pueden ser radares meteorológicos y satelitales, sin embargo, se debe contar con una red de estaciones meteorológicas automáticas apta para proveer datos de la superficie para la creación de modelos de predicción climáticos.

El propósito de este trabajo es aplicar los conocimientos adquiridos en Corea del Sur para la optimización de una red de estaciones automáticas, los procesos y herramientas a utilizar para mejorar la recolección de información, y promover una buena gestión para el mantenimiento y uso de las estaciones automáticas.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Entregar una propuesta de optimización de la red de estaciones automática mediante el análisis y estudio del INSIVUMEH.

### **Específicos**

1. Analizar el estado actual de los sistemas meteorológicos con los que cuenta la institución.
2. Implementar Realizar un estudio de los aspectos que se deben considerar para las estaciones.
3. Desarrollar una propuesta para optimizar la red de estaciones meteorológicas en base al análisis realizado.
4. Presentar tecnología IoT que pueda ser aplicada a las estaciones meteorológicas.
5. Crear un manual donde se apliquen los estándares necesarios para adquisición e instalación de estaciones meteorológicas junto con el debido mantenimiento a sus sensores.



## INTRODUCCIÓN

La finalidad del proyecto de graduación queda en aplicar los conocimientos adquiridos en el curso impartido por la administración meteorológica de Corea del sur, KMA, este consta de dotar de información a las instituciones de los países participantes, y se busca integrar dichos conocimientos debido a que se ha detectado que los instrumentos para toma de datos meteorológicos son de vital importancia.

La optimización de estos recursos depende mucho de la tecnología y requiere de una transición de las estaciones convencionales que estas quedan obsoletas porque la precisión de los equipos automáticos es cada vez es mayor.

Para realizar una optimización en primer lugar se debe analizar el estado actual de los sistemas automáticos de INSIVUMEH, con eso se podrá conocer cuáles son los aspectos que se deben considerar para tener un mejor control y manejo de los recursos en la institución.

Considerando aplicar nuevas tecnologías que faciliten el mantenimiento de los equipos, y la interconexión entre estos, porque es de vital importancia tener un sistema que de la viabilidad de tener la información en todo momento porque es una institución científica a cargo de los fenómenos meteorológicos pueden provocar desastres naturales.

Se brindará un plan de mejora que impulsará a la institución a tener la capacidad de responder ante cualquier acontecimiento, con la información generada por las estaciones meteorológicas automáticas.



# 1. GENERALIDADES DEL INSTITUTO NACIONAL DE SISMOLOGÍA, VULCANOLOGÍA, METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA

## 1.1. Historia

A raíz del terremoto ocurrido en Guatemala, el 4 de febrero de 1976, se creó el INSIVUMEH, a través del acuerdo Gubernativo de fecha 26 de marzo de 1976, iniciando sus operaciones formales el 1 de enero de 1997.

El INSIVUMEH fue formado por el Observatorio Nacional dependiente del Ministerio de Agricultura con el departamento de Meteorología de la Dirección General de Aeronáutica Civil, dependiente del Ministerio de Comunicaciones y Obras Públicas (hoy Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda) y con la sección de Construcción y Mantenimiento de la red Hidrometeorológica del INDE.

Actualmente se cuenta con una institución técnico-científica altamente calificada que contribuye a la optimización de actividades del sector productivo de la República de Guatemala asociadas a las ciencias atmosféricas, geofísicas e hidrológicas coordinando servicios con el sector privado y actuando como asesor técnico del gobierno en caso de desastres naturales.

Además, planifica, diseña y ejecuta estudio y monitoreo sistematizado con la tecnología adecuada, enriqueciendo las bases de datos y sistemas de información geofísica referente del país, contribuyendo con la modernización y especificaciones del sector educativo.

Presta servicios de vigilancia sistemática permanente de la actividad volcánica y sísmica, manteniendo datos hidrometeorológicos, manteniendo, reactivando y realizando la ampliación de las actividades operacionales e institucionales en cuanto a la rehabilitación y reconstrucción de estaciones o puntos de monitoreo de carácter climático.<sup>1</sup>

Su ubicación está en 7av. 14-57 zona 13, colonia Nueva Aurora, a la par del Aeropuerto Internacional La Aurora.

---

<sup>1</sup> INSIVUMEH. *Quiénes somos*. <https://insivumeh.gob.gt/institucional/quienes-somos/>. Consulta: 02 de septiembre de 2021.

Cuenta con varias sedes dentro del territorio nacional, y tiene presencia dentro de los aeropuertos más importantes del país, creando de esta manera relaciones con diferentes instituciones, que dependen de los datos que se registran en los diferentes puntos.

Por ser una institución científica, esta mantiene buenas relaciones con diferentes universidades y otras instituciones extranjeras para compartir conocimientos y así poder realizar una mejor labor en la interpretación de los datos.

## **1.2. Misión**

“Ser una institución técnico-científica que genera y difunde información geocientífica, a través de la recolección y el procesamiento de datos para la toma de decisiones que contribuyan al beneficio de la población.”<sup>2</sup>

## **1.3. Visión**

“Ser reconocidos como una institución generadora de información geocientífica confiable, efectiva y de calidad mundial que impacte positivamente a la población.”<sup>3</sup>

---

<sup>2</sup> INSIVUMEH. *Misión*. <https://insivumeh.gob.gt/institucional/quienes-somos/>. Consulta: 02 de septiembre de 2021.

<sup>3</sup> INSIVUMEH. *Visión*. <https://insivumeh.gob.gt/institucional/quienes-somos/>. Consulta: 02 de septiembre de 2021.

#### **1.4. Estructura de la institución**

El INSIVUMEH es parte del Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda; pero su estructura interna administrativa, está compuesta por la dirección y subdirección general, que dirigen las diferentes unidades y departamentos con los que cuenta la institución.

- Unidad de Planificación y Desarrollo Institucional
- Unidad de Asesoría Jurídica
- Unidad de Comunicación Social
- Unidad de Tecnologías de la Información

Dentro de las unidades se encuentran diferentes departamentos que complementan las labores de las unidades.

##### **1.4.1. Departamento Administrativo - Financiero**

Dentro de sus funciones incluyen el control y administración de los fondos que son asignados a la institución, estos son adquiridos por medio del ministerio de comunicaciones.

Se subdivide en áreas administrativas a cargo del manejo de los bienes:

- Sección Administrativa
  - Unidad de Compras
  - Unidad de Almacén
  - Unidad de Logística y Servicios Generales
  - Unidad de Mantenimiento de Edificios

- Sección Financiera
  - Unidad de Contabilidad
  - Unidad de Presupuesto
  - Unidad de Tesorería
  - Unidad de Inventario
  
- Sección de Recursos Humanos
  - Unidad de Nómina
  - Unidad de Acción de Recursos Humanos
  - Unidad de Información Pública

#### **1.4.2. Departamento de Investigación y Servicios Hídricos**

Se encarga del monitoreo de los cuerpos hídricos dentro del territorio nacional, esto conlleva a desarrollar diferentes observaciones, para control de calidad de los recursos naturales realizando estudios que apoyen a las diferentes comunidades que subsisten de estos recursos.

Secciones en las que se dividen los monitoreos:

- Sección de Hidrología y Aplicaciones
- Sección de Hidrogeología
- Sección de Oceanografía
- Sección de Calidad del Agua y Aire

### **1.4.3. Departamento de Investigación y Servicios Meteorológicos**

Es el área que desarrolla el monitoreo de los fenómenos climáticos y atmosféricos, se encarga de la detección temprana de riesgos que provienen de ambos océanos, por lo mismo se tiene comunicación a nivel internacional para tener un control de alerta temprana.

Se realizan diferentes monitoreos en tres secciones, estas son:

- Sección de Climatología y Aplicaciones
- Sección de Meteorología Aeronáutica
- Sección Centro Nacional de Pronósticos

### **1.4.4. Departamento de Investigación y Servicios Geofísicos**

Departamento encargado del estudio de las capas tectónicas que se encuentran debajo del territorio nacional, por ser el departamento más antiguo cuenta con equipos que datan del inicio de la institución, y al tener una gran cantidad de volcanes cuenta con diferentes secciones para el monitoreo de estos fenómenos.

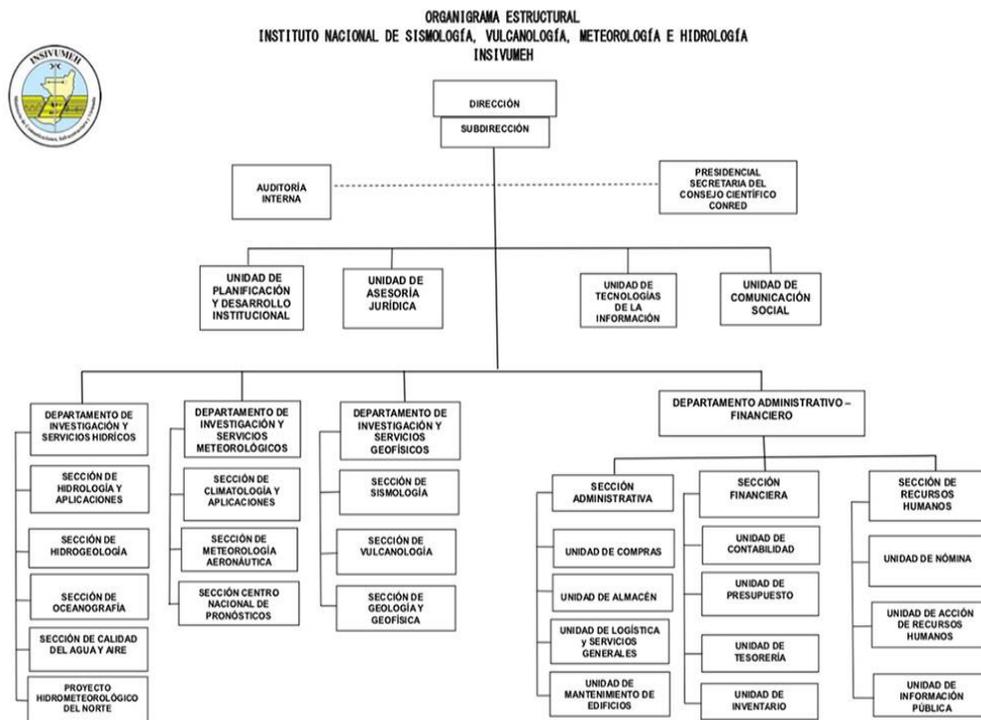
Cuenta con diferentes secciones, estas son:

- Sección de Sismología
- Sección de Vulcanología
- Sección de Geología y Geofísica

## 1.5. Organigrama

En la figura 1 se detalla la organización; por departamentos, secciones y unidades que conforma el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.

Figura 1. Organigrama de INSIVUMEH



Fuente: INSIVUMEH. *Organigrama*. <https://insivumeh.gob.gt/institucional/quienes-somos/>

Consulta: 02 de septiembre de 2021.

## **2. SISTEMAS METEOROLÓGICOS**

### **2.1. Meteorología**

La Meteorología es una ciencia multidisciplinaria que realiza el estudio de la física de la atmosfera, esto inicia en las primeras asentamientos cuando las personas entendían que la interacción con estos fenómenos atmosféricos afectaban de cierta manera su forma de vida, realizaron las primeras observaciones de estas variables, dándose cuenta que los cambios eran cíclicos, y la toma de dato ayudaba a tener un cierto margen de predicción sobre estos eventos, a los que antes se les asociaba a la voluntad de los dioses o al movimiento de estrellas, porque en ese entonces la visión del mundo era mágica y religiosa. Hubo estudios desde la antigüedad como el tratado meteorológico de Aristóteles escrito alrededor del 340 a.C.

Esto llevo a desarrollar mejores métodos de adquisición de datos como el primer pluviómetro, en 1441 en Corea, entre otros instrumentos que fueron mejorando mediante el desarrollo de nuevas tecnologías, luego de la revolución industrial se crearon nuevos instrumentos que fueron mejorando la exactitud de las variables a medir.

Esto llevo a entender que la meteorología es multidisciplinaria ya que diferentes ramas de la ciencia utilizaban estos datos para mejores resultados, lo que dio como resultado de la aplicación de la electrónica como una herramienta para crear instrumentos capaces de captar y medir las variables meteorológicas con mayor exactitud y llevar un mejor control en la toma de datos que luego servirían para dar paso al uso de estaciones meteorológicas automáticas- EMA.

### **2.1.1. Sensores de estaciones meteorológicas automáticas**

Se utilizan diferentes métodos para la adquisición de estas variables, interactuando con la mecánica y electrónica para el diseño de estos instrumentos. Estos son parte fundamental de la meteorología ya que son los equipos que dotan de información a la institución.

Entender la importancia, el uso que se le da, y los estándares necesarios, brinda la información necesaria para la planificación de una buena estructura de red meteorológica.

#### **2.1.1.1. Temperatura**

El cambio de la temperatura tiene efectos importantes en la interacción de la vida humana y juega un rol importante como un indicador ambiental para varias industrias, y el crecimiento tanto de animales como en plantas.

Desde que se logra percibir estos efectos, se busca llevar un control para la medición de esta variable, y se usaron los primeros instrumentos análogos como el termómetro de mercurio. Actualmente se utilizan métodos digitales para la recopilación de datos de temperatura.

La medición de la temperatura en un instrumento electrónico conlleva al cambio de voltaje que produce una resistencia variable. Esto produce una escala de valores que se puede asignar dependiendo la temperatura que se le aplica, de esta forma se logra la adquisición de datos más exactos y no depender de la observación que tiene un grado mayor de incerteza.

Se encuentran diferentes tipos de sensores eléctricos, el más utilizado en las estaciones meteorológicas es el de resistencia metálica, que consta de un metal en este caso sería el platino al que se le aplica voltaje y este varía su conductividad según la temperatura aplicada.

Otro tipo de sensores de temperatura serían los termistores, comúnmente utilizados en equipos electrónicos, pero es raramente usado en estaciones meteorológicas por la incerteza que produce. Por último, se encuentran las termocoplas, que son dos cables de diferente coeficiente Seebeck unidos al final.

El sensor de temperatura se instala dentro de una garita de platos, pintada de blanco. Situada a 1,25 – 2 m por encima del suelo. Este sensor no debe estar bajo sombra ya que puede alterar los datos. La incerteza de cada sensor depende del fabricante, y hay estándares mínimos que se usan para tener una base sobre la medición.

Cuanto mayor es la velocidad de las partículas, mayor es la temperatura y viceversa.

Consideraciones para tomar para instalación:

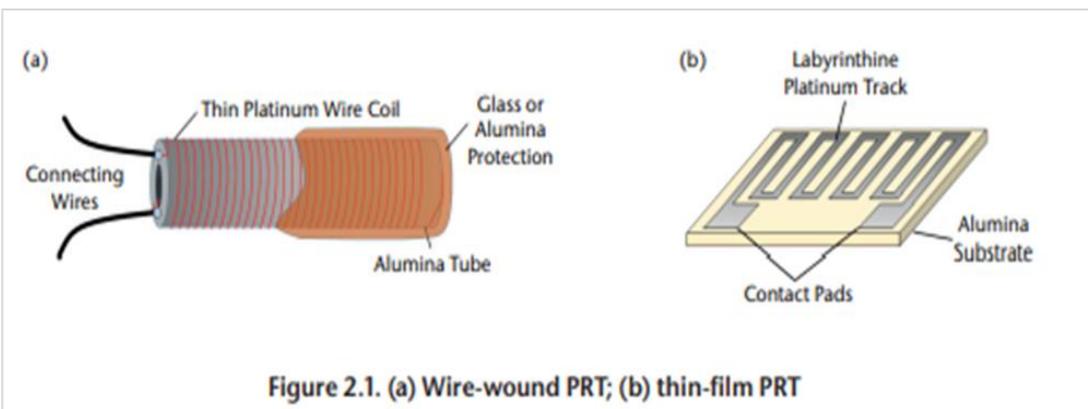
- El instrumento debe instalarse dentro de un protector de radiación
- El sensor debe situarse entre 1.2 a 2 m sobre la superficie del suelo
- Asegurarse de que se encuentre tres veces más lejos de la altura de los objetos que rodean la jaula de la estación, y que no se encuentre alguna poza de agua alrededor.

Tabla I. **Conductor de platino**

Temperature	
Temperature Sensor	1000 ohm Platinum Resistance Thermometer
Measurement Range	-39.2° to +60°C
Output Signal Range	0.008 to 1.0 V
Accuracy at -40°C	±0.5°C
Accuracy at -20°C	±0.4°C
Accuracy at 0°C	±0.3°C
Accuracy at 20°C	±0.2°C
Accuracy at 40°C	±0.3°C
Accuracy at 60°C	±0.4°C

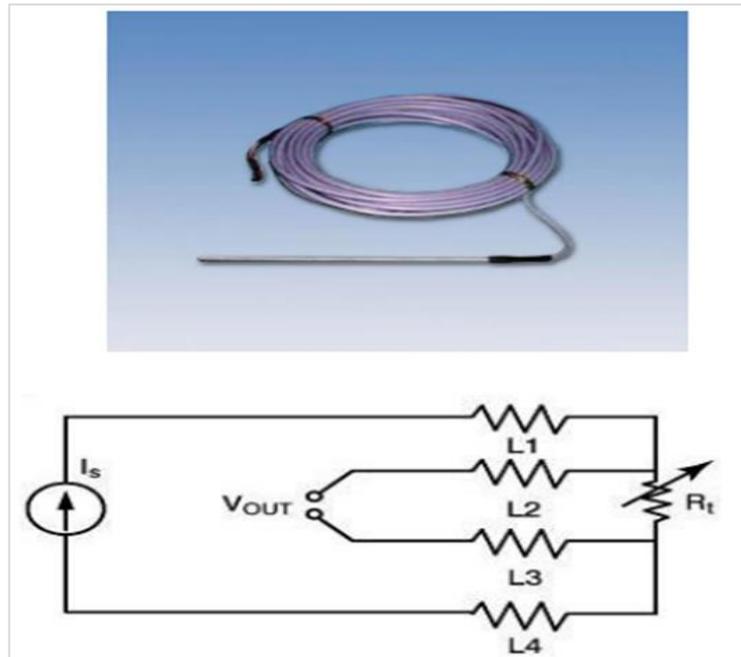
Fuente: i2. WP. *Especificaciones conductor de platino*. <https://www.campbellsci.com/hmp45c-l.png>. Consulta: 2 de septiembre de 2021.

Figura 2. **Tipos de sensores de temperatura**



Fuente: Física Lab. *Temperatura*. [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=10616](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10616). Consulta: 16 de octubre de 2021.

Figura 3. **Diagrama de sensor de temperatura**



Fuente: PR electronics. *Temperatura*. <https://www.prelectronics.com/es/the-fundamentals-of-rtd-temperature-sensors/>. Consulta: 10 de octubre de 2021.

### 2.1.1.2. **Presión atmosférica**

La presión atmosférica en un punto de superficie es la fuerza por unidad ejercida por el peso de la atmosfera encima. La presión es igual a el peso de una columna vertical de aire encima de la superficie, que tiene su límite en la atmosfera.

La presión no es constante en un lugar en específico, esta tiene cambios lentos esto dependiendo otras variables como altura, viento, temperatura, entre otros. La unidad básica de medición de presión atmosférica es el pascal (Pa), o newton por metro cuadrado,  $Nm^2$ .

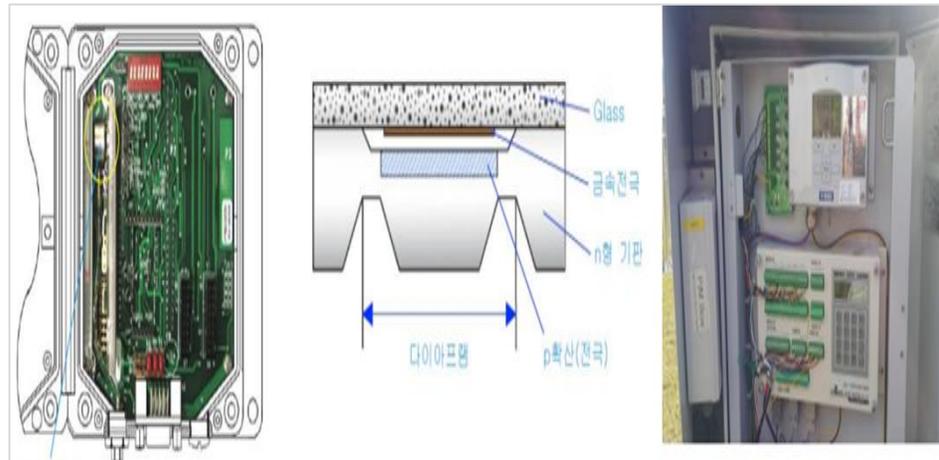
El barómetro es el instrumento de medición de presión, hay diferentes tipos desde barómetros de mercurio, que no son recomendados actualmente, barómetros electrónicos y barómetros aneroides.

El barómetro electrónico es el que actualmente se usa en las estaciones meteorológicas, este utiliza el principio de capacitancia. Los electrodos se mueven de una placa a otra, al percibir el cambio de presión atmosférica, varía la transferencia de electrones y es percibida en señales eléctricas.

Consideraciones para tomar en la instalación:

- La presión del aire puede cambiar en cualquier momento porque la atmósfera se mueve, y la ubicación del sensor es importante.
- Lugares donde la temperatura sea muy variable o los vientos muy fuertes deben ser evitados.
- Áreas donde la atmósfera no esté completamente bloqueada no son apropiados.
- Para las EMAs, los sensores deben ir instalados dentro de la caja de protección junto con el data logger.

Figura 4. **Barómetro diagrama**



Fuente: Vaisala. *Barómetro*. <https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/PTB330%20User%27s%20Guide%20in%20Spanish.pdf>.

Consulta: 3 de octubre de 2021.

Consideraciones para tomar en la instalación:

- La presión dTipo: sensor de capacitancia
- Rango de medición: 500-1 800
- Precisión:  $\pm 0,5$ (750-1 080)
- Resolución: 0,1
- Temperatura de operación: -40 a +60
- Intervalo de medición: 30 minutos o 1 hora

Para estaciones meteorológicas deben ubicarse dentro de la caja de data logger.

Figura 5. **Barómetro**



Fuente: Vaisala. *Barómetro*. Fuente: <https://www.campbellsci.es/cs106>.

Consulta: 3 de octubre de 2021.

### 2.1.1.3. **Humedad**

La humedad es una masa o concentración de vapor de agua presente en el aire, se mide por presión de vapor de agua (hPa), la presión parcial del vapor de agua en el aire. Los métodos de medición son usando un material dieléctrico.

Se basa en un sensor capacitivo de polímero de película fina. El polímero de película fina o absorbe o libera vapor de agua según la humedad relativa del aire se eleve o descienda. Las propiedades dieléctricas del polímero dependen de la cantidad de agua contenida en él. Con los cambios de humedad relativa, las propiedades dieléctricas de la película cambian, y la capacidad del sensor cambia. La electrónica del instrumento convierte esta capacidad en un voltaje de salida que indicará la humedad relativa.

Consideraciones para tomar en cuenta sobre la instalación:

- El instrumento debe ser instalado dentro de un protector, comúnmente colocado con el sensor de temperatura.
- Debe estar entre 1,2 a 2 m de altura sobre la superficie.
- Debe estar alejado de objetos que puedan entorpecer los datos como pozas de agua.
- Al momento de instalar se puede verificar su funcionamiento colocando una toalla húmeda cubriendo el sensor, este debe dar un 100 % de valor.

Figura 6. **Sensor de humedad**



Fuente: Campbell. *Sensor de humedad HMO-45D*. <https://www.campbellsci.es/cs215-l>.

Consulta: 12 de octubre de 2021.

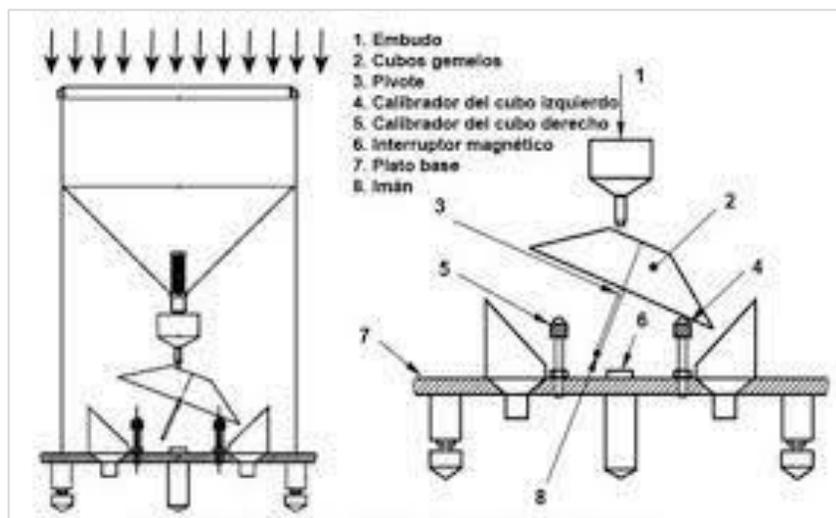
#### **2.1.1.4. Precipitación**

La precipitación se refiere a la cantidad de cualquier líquido ya sea lluvia, granizo, entre otros. En cierto periodo de tiempo. En meteorología se utiliza el

pluviómetro para medir esta variable. El diseño básico de un pluviómetro consiste en una abertura superior de entrada de agua al recipiente, que luego es dirigida a través de un embudo conduce el agua colectada a una pequeña cubeta triangular doble, de metal o plástico, con una bisagra en su punto medio. Es un sistema cuyo equilibrio varía en función de la cantidad de agua en las cubetas.

La inversión se produce generalmente a 0,2 mm de precipitación, así que cada vez que caen 0,2 mm de lluvia la báscula oscila, vaciando la cubeta llena, mientras comienza a llenarse la otra. Cada vez que la cubeta doble se mueve, este movimiento es registrado por medio de un circuito muy sencillo, es un *switch* magnético y se activa cada vez que la báscula oscila, enviando señales eléctricas al data logger.

Figura 7. Diagrama de pluviómetro



Fuente: Universidad de Salamanca. *Diagrama pluviómetro.*

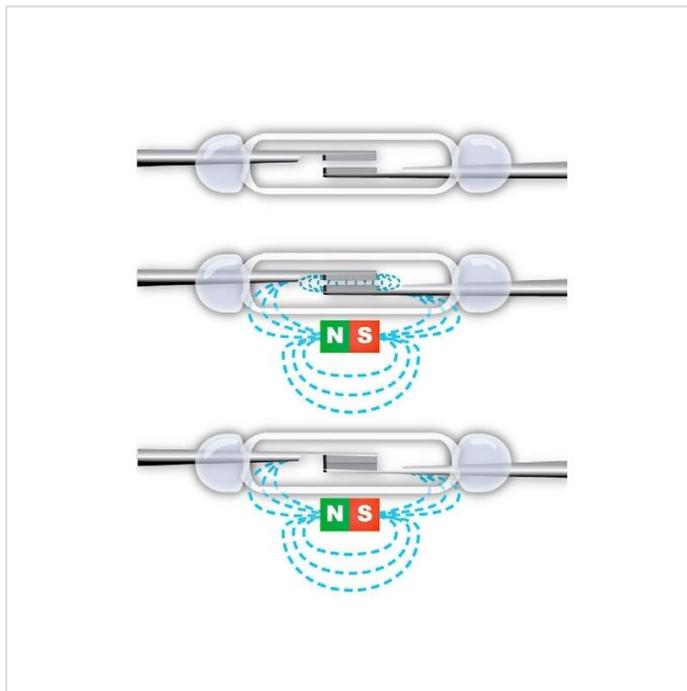
<https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/3361/CuervoQuevedoMariaCamila2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Consulta: 12 de octubre de 2021.

### Consideraciones para tomar en la instalación:

- La medición de precipitación se ve afectada por la ubicación del pluviómetro. Se debe seleccionar un lugar naturalmente protegido de ráfagas de viento.
- Se debe evitar un lugar susceptible a la contaminación de basura tal como hojas caídas, polvo, entre otros.
- El pluviómetro debe ser inspeccionado periódicamente. La suciedad y la basura acumulada deben eliminarse del embudo, pantalla y cazoleta.
- Las conexiones eléctricas deben inspeccionarse y limpiarse.
- Los tornillos de nivel se deben ajustar para que este calibrado correctamente.
- Se debe realizar verificación de que este calibrado para que las lecturas sean correctas.

El método para captura de datos del pluviómetro utiliza un interruptor magnético, este es activado por medio de un imán que va colocado en la parte media del balancín, al momento de caer hacia un lado, este imán activa el interruptor enviando una señal analógica al registrador de datos, este lo toma como un 1, estos se van sumando para determinar la cantidad de lluvia en un cierto periodo de tiempo.

Figura 8. **Interruptor magnético**



Fuente: Shoptronica. *Interruptor magnético*. <https://www.shoptronica.com/curiosidades-tutoriales-y-gadgets/3981-que-son-los-interruptor-magnetico-reed-switch-0689593949974.html>.

Consulta: 12 de octubre de 2021.

El equipo de medición utilizado comúnmente se llama pluviómetro, aunque hay variaciones este es el más eficaz, porque por su diseño sencillo se pueden realizar verificaciones de campo más prácticas.

Consta de un cono invertido con un orificio en el que se capta el agua de lluvia, y cae al balancín, al momento de llenarse realizar una toma de lectura dejando caer el agua hacia la parte de abajo, lo cual se toma como un dato, esta medida se va acumulando en el registrador de datos y se toma por lapsos de entre 5 a 15 minutos, los cuales pueden ser modificados según sea la intensidad

de la lluvia, estos datos acumulados indican la cantidad de agua que se registra en ese tiempo.

Figura 9. **Pluviómetro**



Fuente: CAMPBELL. *Pluviómetro*. <https://www.scientificsales.com/TR-525-S-U-Siphoning-Rain-Gauge-p/tr-525-s-u.htm>. Consulta: 13 de octubre de 2021.

#### **2.1.1.5. Viento**

El gradiente de la presión entre dos puntos causa el viento como producto del aire que fluye en la diferencia. El vector muestra la dirección y magnitud del viento. La dirección del viento cambia a cada momento, esta es medida durante 10 minutos, y es reportada mediante dirección de una brújula.

Al mismo tiempo la variante de su velocidad es medida cada 10 minutos por los cambios que representa en este lapso utilizando los anemómetros.

Existen diferentes tecnologías que aplican para leer estos parámetros.

- Anemómetro de potenciómetro

Este anemómetro es un sensor para medir la velocidad del viento con salida de voltaje analógico, es decir el voltaje cambia a medida que la velocidad del viento se incrementa, cuando no hay viento la salida es de 0,4 V, el sensor está diseñado para ser usado en exteriores tiene un conector seguro de rosca y un cable de 99cm de longitud.

Figura 10. **Anemómetro potenciómetro**

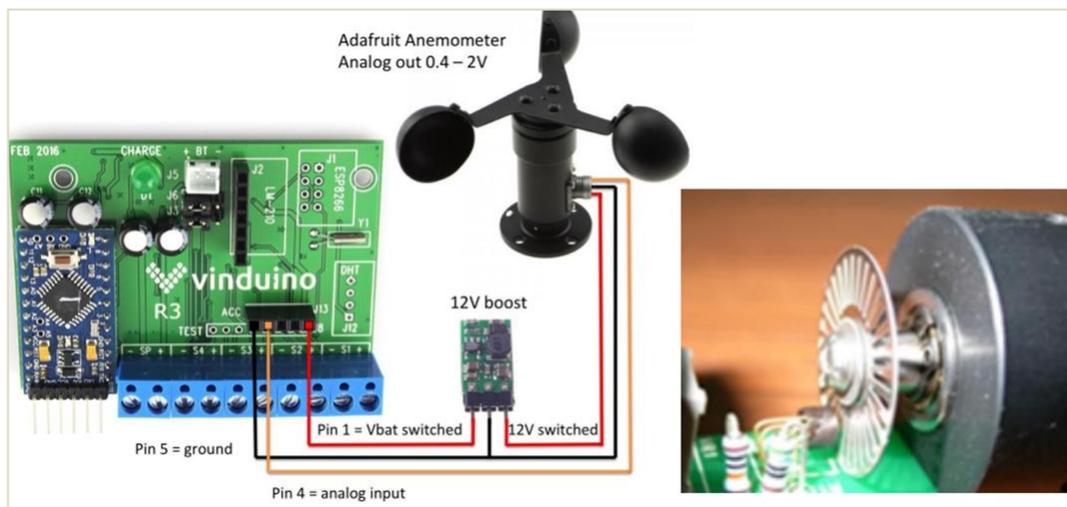


Fuente: dynamoelectronics. Anemometro: <https://dynamoelectronics.com/tienda/anemometro-sensor-velocidad-del-viento-analogico/>. Consulta: 5 de octubre de 2021.

- Anemómetro con foto interruptor

Utilizando 3 copas cónicas (Diámetro de 65mm, profundidad de 37mm), colocadas en la parte superior del eje en forma radial de 120 grados. Cuenta con una gran efectividad de operación y corta respuesta. Usando el principio de la interrupción de voltaje con la foto interruptor, lee un disco conectado al eje, identificando la frecuencia con la que este disco rota, es proporcional a los metros por segundo que esta gira.

Figura 11. **Anemómetro Adafruit**



Fuente: Adafruit. Anemómetro: <https://www.adafruit.com/product/1733/>. Consulta: 5 de octubre de 2021.

- Anemómetro tipo Propeller o anemómetro de molino

Usando el principio de un molino de viento genera una frecuencia proporcional a su velocidad de rotación. Al mismo tiempo la dirección del viento se mide mediante dos potenciómetros en la estructura utiliza dos voltajes que son

generados dependiendo el azimut, el cual puede ser convertido para crear la diferencia de los 360 grados.

Figura 12. **Anemómetro tipo Propeller o veleta**



Fuente: Campbell young. Anemómetro: <https://greentechmexico.com/anemometro-de-molinete-y-veleta-young-05103>. Consulta: 5 de octubre de 2021.

- Anemómetro ultrasónico

Tomando las variables de la velocidad de las ondas ultrasónicas según el flujo de aire, esto produce una precisa medición desde 0 m/s a vientos muy fuertes, en especial porque no utiliza partes móviles. El mantenimiento de estos suele ser únicamente la limpieza de los sensores y calibración por movimiento de los vientos fuertes. Hay dos tipos de sensores ultrasónicos, el de 3 sensores que

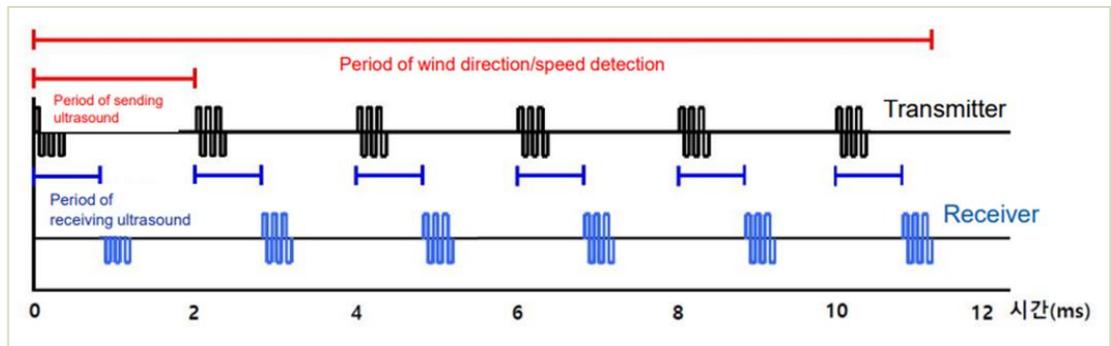
mide la velocidad y dirección del viento de forma horizontal, mientras que el de 6 sensores puede medir tanto vertical como horizontal.

Figura 13. **Anemómetro ultrasónico**



Fuente: Sensovant. *Rosa de viento*. <https://www.sensovant.com/productos-aplicaciones/agricultura/viento/sensores-ultrasonicos-2d/articulo/sensor-eolico-ultrasonico-windsonic-m.html> Consulta: 12 de septiembre de 2021.

Figura 14. **Periodo de medición y detección**



Fuente: Korea Meteorological Administration. *Pdf curso en KMA*. p. 42.

Consideraciones a tomar para instalación:

- Sin obstáculos alrededor, 10 metros por encima de la superficie
- El eje y el brazo del sensor deben ser instalados exactamente en forma vertical.
- El sensor de viento debe ser colocado en dirección norte.

#### **2.1.1.6. Radiación solar**

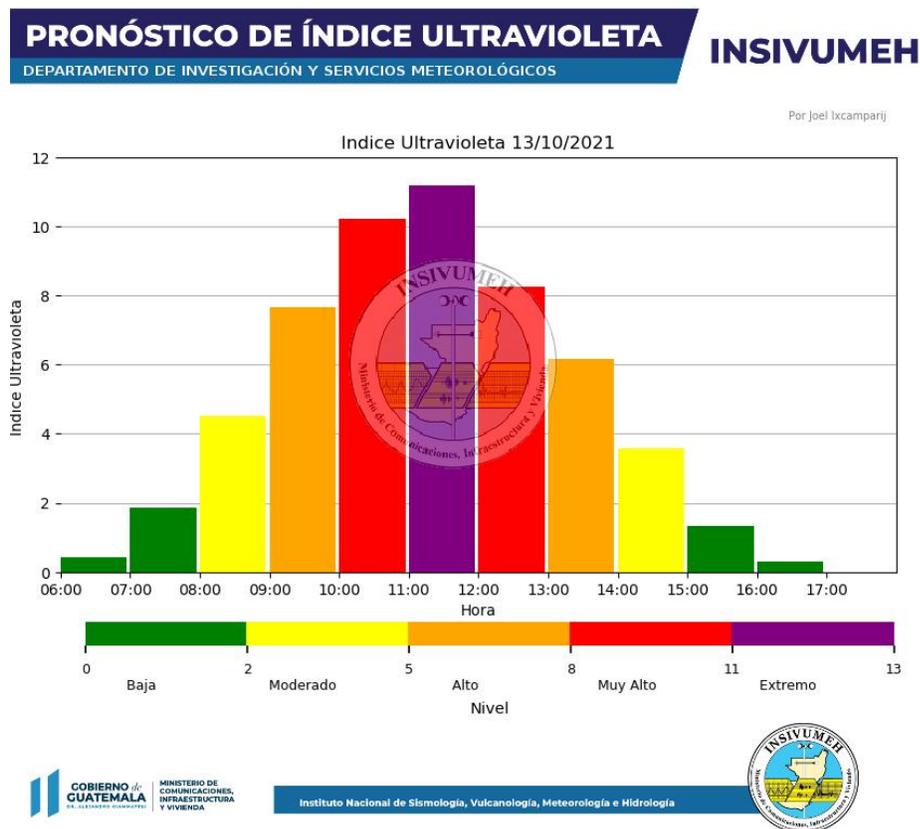
Sirve para medir el flujo de radiación solar que incide en una superficie plana en  $W/m^2$  en un campo de visión de  $180^\circ$  (también llamado radiación solar global). Trabajando de forma pasiva, utilizando un sensor de termopila, genera un pequeño voltaje de salida proporcional a este flujo. Utilizando dos cúpulas de vidrio se puede reducir algunos errores de medición; en particular las compensaciones térmicas, para así obtener una alta precisión de medición.

Para obtener una lectura sólo se requiere de un voltímetro preciso que funcione en el rango de milivoltios. Para calcular el nivel de radiación el voltaje debe dividirse por la sensibilidad; una constante que es suministrada con cada instrumento. Puede utilizarse para observaciones científicas meteorológicas, física de construcción, y pruebas de clima y de recolección solar. Una aplicación común es para medir la radiación solar al aire libre como parte de una estación meteorológica.

El nombre científico es piranómetro. Un piranómetro debe medir el flujo de radiación solar de un campo de visión de 180 grados. El espectro de radiación solar se extiende aproximadamente de 300 a 2 800 nm. Esto sigue que un piranómetro debe cubrir todo el espectro con una sensibilidad especial que lo hace tan “plano” como sea posible.

En INSIVUMEH se realiza un pronóstico de índice ultravioleta, entre uno de varios pronósticos que se realizan con las diferentes variables que proporcionan los sensores, dando información importante si se interpretan los datos que, como la radiación, puede afectar diferentes aspectos de la vida cotidiana. Dichos estudios pueden ayudar a otras instituciones a llevar control de salud, temas de agricultura, protección a incendios forestales, entre muchos otros que pueden afectar.

Figura 15. Pronóstico de índice ultravioleta



Fuente: IXCAMPARIJ, Joel. *Sensores remotos y monitoreo atmosférico*. [http://www.insivumeh.gob.gt/img/FUEGO/fuego\\_preview/main.pdf](http://www.insivumeh.gob.gt/img/FUEGO/fuego_preview/main.pdf). Consulta: 20 de octubre de 2021.

El piranómetro es un sensor que mide la radiación global de onda corta. La forma de domo de cristal se basa en el diseño de una esfera de vidrio que era utilizada antes junto con una tira de papel especial que contenía escalas de radiación. La luz solar quema el papel indicando las diferentes escalas y así calcular las horas de luz que se tenían.

Este modelo se sigue utilizando con la variación que el sensor funciona como termocupla, el cambio de temperatura genera una señal que es enviada al registrador de datos en escala de milivoltios.

Figura 16. **Piranómetro**



Fuente: TH Bing. *Piranómetro*. [Thttps://th.bing.com/th/id/R.20744103ce0abece8423ab362559b850?rik=CBYL%2bRhEf46NXg&pid=ImgRaw&r=0](https://th.bing.com/th/id/R.20744103ce0abece8423ab362559b850?rik=CBYL%2bRhEf46NXg&pid=ImgRaw&r=0). Consulta: 15 de octubre de 2021.

Consideraciones a tomar para instalación:

- Precipitación Debe evitar que existan objetos entre el sensor y el sol, que provoquen sombra al instrumento.
- Instalar horizontalmente, apoyándose de un nivel, herramienta usada para medir la inclinación de un plano.
- La orientación debe ser hacia el polo más cercano, en caso de Guatemala se debe colocar dirigido hacia el hemisferio norte.

#### **2.1.1.7. Data logger**

El data logger es donde se procesan las señales de los sensores que se transforman en datos reales físicos para el meteorólogo, monitoreando y registrando los datos en tiempo real, tales como los voltajes, corrientes y señales digitales. Funciona como unidad de procesamiento o CPU, para luego almacenar y enviar la información que luego se estará procesando para diferentes aplicaciones.

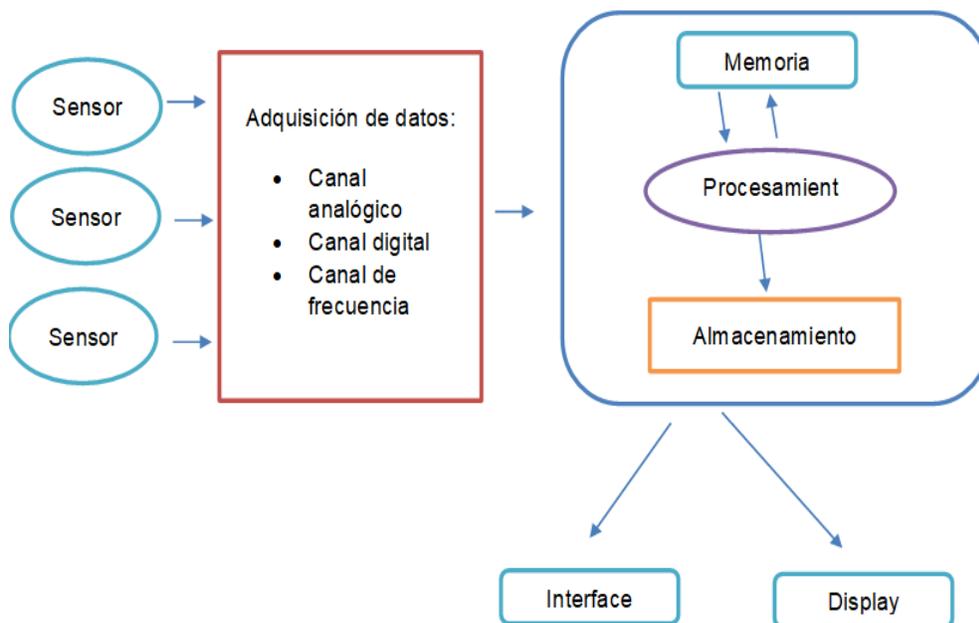
El equipo va integrado dentro de una caja de protección generalmente junto al sensor de presión, la conexión hacia los puertos va hacia los diferentes puertos que puede contener, al mismo tiempo se debe disponer de un centro de carga conectado a un sistema de tierra física y a un centro de carga principal que puede ser tanto como un panel solar hacia un convertidor, o directamente a C/A.

Dispone de un pasacables para prevenir la presurización y equilibrar las presiones dentro y fuera de la caja. Cuenta con perforaciones respectivas para asegurar el adecuado montaje de equipos. Debe contar con la identificación

adecuada de los canales digitales, analógicos y otros tipos de comunicaciones presentes.

Utiliza un software que facilita la configuración, uso y captura de datos. Este se conectará a una computadora o servidor a través de diferentes medios, tanto por medio de cable ethernet, RS-232, Wifi o modem celular.

Figura 17. **Esquema de data logger**



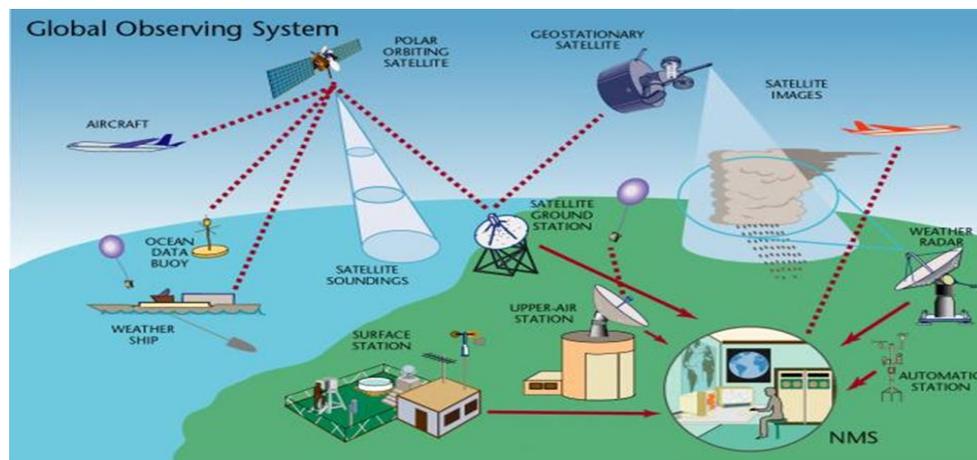
Fuente: elaboración propia.

### 3. ANÁLISIS DE LA RED METEOROLÓGICA DE LA INSTITUCIÓN

#### 3.1. Sistemas de observación meteorológica

Antes de presentar un proyecto de optimización se debe realizar un análisis sobre el sistema de recolección de datos meteorológicos en la institución, la importancia en tener datos relativamente en tiempo real, la presentación de estos datos y modelo de flujo del procesamiento de datos. Estos sistemas son un conjunto de equipos que realiza diferentes métodos para la recolección de datos meteorológicos y los procesos que se llevan a cabo para recabar la información para presentar los datos y análisis que se realizan en base a estos.

Figura 18. **Sistemas meteorológicos automáticos**



Fuente: Meteoclim. *Sistemas de medición meteorológica automática.*

<https://blog.meteoclim.com/sistemas-de-observacion-meteorologica>. Consulta: 11 de octubre de 2021.

La institución cuenta con varios sistemas de medición meteorológica, estos dotan de información a los pronosticadores y científicos de datos quienes procesan todos los datos para luego realizar diferentes aplicaciones.

### 3.2. Datos presentados

De acuerdo con la emisión de la información del Departamento de Investigación y Servicios Meteorológicos, se coloca la información en la página web de INSIVUMEH <https://insivumeh.gob.gt/> específicamente en la sección Meteorología, según sea la necesidad del usuario de conocer la información de acorde al tiempo de emisión se puede encontrar en la página web.

Tabla II. **Tabla de boletines meteorológicos**

Diaria	Pronóstico diario, sinopsis, pronóstico modelo numérico, mapas de las últimas 24 horas, imágenes satelitales, relámpagos
Fin de semana	boletín fin de semana
Semanal	boletín semanal, humedad del suelo
Mensual	I perspectiva climática nacional, monitoreo de sequía agrícola, -ASIS-
Trimestral	perspectiva climática trimestral, boletín agroclimático local, de la Mesa Técnica Agroclimática
Anual	plan de temporada ciclónica

Fuente: elaboración propia.

- Emisión diaria

Pronóstico diario, sinopsis, pronóstico modelo numérico, imágenes satelitales y relámpagos. A continuación, se detallan los mapas de las últimas

24 horas, estos son emitidos todos los días y se pueden encontrar en la sección meteorología y al presionar despliega submenú Mapas de últimas 24 hrs, los cuales son realizados con los datos preliminares observados por la red de estaciones a nivel nacional.

Acumulado de lluvia registrada del día: mapa realizado utilizando los datos preliminares de lluvia de 93 estaciones del INSIVUMEH y con la colaboración de 30 estaciones del Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático.

Días sin lluvia registrada del día: Este mapa se realizó utilizando los datos preliminares de lluvia de 93 estaciones del INSIVUMEH y con la colaboración de 30 estaciones del Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático.

Porcentaje de lluvia registrada: El porcentaje de lluvia representa la precipitación registrada versus los datos estadísticos, durante un periodo en específico. El mapa de porcentaje es un buen indicador para analizar cómo se comportó la distribución de lluvia en un lapso determinado, tomando como referencia los datos preliminares de lluvia de 93 estaciones del INSIVUMEH.

Lluvia registrada del día: Este mapa se realizó utilizando los datos preliminares de lluvia de 89 estaciones del INSIVUMEH y con la colaboración de 29 estaciones del Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático.

Puntos de calor registrados del día: Este mapa es elaborado utilizando datos satelitales proporcionados por CONABIO México, mostrando una serie de puntos de calor representados por píxeles. La finalidad de actualización rotativa del mapa de puntos de calor es para contribuir a informar y no alarmar a la población, dando a conocer de forma gráfica un posible foco de incendio forestal a nivel nacional. Es importante saber que un punto de calor puede ser cualquier

fuelle de calor que tiene emisi3n lo suficientemente fuerte para ser detectada por el sensor del sat3elite, esta fuente puede ser provocada por incendios, quemas agr3colas, suelos calientes por el sol, grandes chimeneas (llamas de gas en pozos petroleros), volcanes activos, son detectados porque emiten temperaturas m3s elevadas que el de su entorno.

Temperatura m3xima registrada el d3a: Este mapa se realiza utilizando los datos de 54 estaciones, el modelo de elevaciones y un gradiente de temperatura de 0,060°C/m.

Temperatura m3nima registrada el d3a: este mapa se realiza utilizando los datos de 54 estaciones, el modelo de elevaciones y un gradiente de temperatura de 0,055°C/m.

- Emisi3n fin de semana

Se tiene el bolet3n meteorol3gico de fin de semana, el cual tiene emisi3n los viernes y per3odo de validez de s3bado y domingo.

- Emisi3n semanal

O tambi3n llamado Bolet3n Meteorol3gico Semanal, es emitido todos los lunes en la p3gina de web de INSIVUMEH secci3n Meteorolog3a, men3 Boletines, sub-men3 Bolet3n Semanal Meteorolog3a. Tiene validez de lunes a viernes.

- Humedad del suelo

Se presenta el reporte de la humedad del suelo del Sistema CAFFG (Sistema Gu3a para Inundaciones Repentinias de Am3rica Central, por sus siglas

en inglés). El reporte incluye los dos mapas de humedad del suelo (Average Soil Moisture), tomados del modelo Sacramento (Sacramento Soil Moisture Accounting), para cada una de las subcuencas con la delimitación municipal incluida.

- Emisión mensual

Perspectiva climática nacional el Departamento de Investigación y Servicios Meteorológicos del INSIVUMEH informa en este documento las condiciones climáticas que se esperan para el mes correspondiente, este documento es colocado en la página web de INSIVUMEH el primer día de cada mes.

Las partes de la perspectiva climática mensual son:

- Estado de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS)
- Anomalía de temperatura superficial del mar en el Océano Atlántico
- Precipitación mensual
- Temperatura máxima promedio
- Recomendaciones

Monitoreo de sequía agrícola

El siguiente boletín de monitoreo de sequía agrícola, brinda información de la superficie afectada por sequía agrícola según el Índice de Estrés Agrícola (ASI) por medio del sistema de vigilancia ASIS. Información útil para la toma de decisiones.

Las partes del boletín de monitoreo de sequía agrícola son:

- Introducción
- Siembra primera
- Siembra segunda
- Estado de la sequía agrícola
- Lluvia registrada para el mes correspondiente
- Glosario

#### Sistema de vigilancia de la sequía agrícola

El Sistema de Índice de Estrés Agrícola (ASIS, por sus siglas en inglés), es un sistema de vigilancia de la sequía en agricultura, desarrollado en colaboración con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO), para fortalecer las capacidades nacionales y regionales en el monitoreo y alerta temprana de la sequía agrícola con el uso de información satelital.

El Sistema Mundial de Información y Alerta Temprana sobre Alimentación y Agricultura (SMIA), de la FAO proporciona imágenes en tiempo cuasi real (cada 10 días), que se utilizan en el cálculo del Índice de estrés agrícola (ASI). El ASI es un indicador para la identificación temprana de áreas agrícolas con alta probabilidad de ser afectadas por episodios de sequía o por sequías extremas.

- Emisión trimestral
- Perspectiva climática trimestral

El Comité Regional de Recursos Hidráulicos del Sistema de la Integración Centroamericana (CRRH-SICA), en coordinación con los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales, organiza el Foro del Clima de América Central. Cuenta con el apoyo de la Secretaria General del Sistema de Integración Centroamericana para el uso de su plataforma SICA Digital.

Durante el foro se revisa y analiza las condiciones oceánicas y atmosféricas más recientes, los registros históricos de lluvia, las previsiones de los modelos globales y sus posibles implicaciones en los patrones de lluvia en la región, así como los registros históricos y los análisis estadísticos aportados por cada uno de los servicios meteorológicos de la región.

Con estos insumos se obtiene el consenso de la Perspectiva regional del clima para América Central.

El Departamento de Investigación y Servicios Meteorológicos del INSIVUMEH informa las condiciones climáticas que se esperan para el trimestre en el país de Guatemala, como producto del Foro del Clima de América Central, en base a dichos criterios y al análisis de la información recopilada se obtiene el consenso de la perspectiva.

La perspectiva climática trimestral cuenta con las secciones de:

- Introducción
- Consideraciones
- Estado del El Niño-Oscilación del Sur (ENOS)
- Condiciones esperadas
- Pronóstico estacional de precipitación
- Información general de eventos atmosféricos
- Recomendaciones
- Boletín agroclimático

Para la generación del boletín agroclimático Al finalizar la reunión se debe contar con un borrador del boletín agroclimático que refleje la información climática presentada y los análisis elaborados en cada uno de los pasos de la

MTA. Es importante que después de realizada la MTA, en los siguientes días (máximo una semana) se genere el boletín agroclimático que será enviado a los participantes de la MTA para su revisión y adiciones, y finalmente sea publicado de manera oportuna. Objetivos de este paso Construir el boletín agroclimático resumiendo todos los puntos tratados durante la reunión de la MTA. Procedimiento Para la generación del boletín agroclimático se recomienda la siguiente estructura:

- Portada o encabezado con una foto de la zona acorde con la temporada agrícola, el número de edición del boletín, la región de la MTA y la fecha o vigencia del boletín.
- Logos de las instituciones participantes en la MTA.
- Información de la climatología para los meses de referencia o una comparación de las lluvias pronosticadas con respecto al histórico del periodo de referencia.
- Diagnóstico sobre la evolución y seguimiento del fenómeno meteorológico actual influyente en el comportamiento meteorológico de la región (ejemplo el fenómeno El Niño/La Niña), o la temporada de huracanes.
- Opcional: Verificación de la predicción climática realizada en la reunión anterior.
- Predicción climática local para los próximos meses en función de la frecuencia de reunión de la MTA. Se recomienda mostrarlo en mapas o gráficos sencillos y una explicación textual.

- Opcional: Impactos de las condiciones pronosticadas de tiempo para cada sistema productivo.
- Recomendaciones agronómicas según el criterio de los actores participantes en la MTA (medidas de adaptación / mitigación para los cultivos de interés).
- Es importante pedir insumos como fotos de los cultivos que reflejan el trabajo de las instituciones en la región.
- La longitud de esta sección depende de la cantidad de cultivos priorizados en la MTA y la temporalidad de los análisis.
- Información general de la MTA y anuncios.
- Información de contacto.
- Mesas agroclimáticas

Una Mesa Técnica Agroclimática (MTA), es un espacio de diálogo entre una diversidad de actores locales incluyendo científicos, técnicos, representantes del sector público, privado y agricultores, que busca comprender el posible comportamiento del clima en una localidad y generar recomendaciones para disminuir los riesgos asociados a la variabilidad climática esperada.

Como resultado de dicho diálogo, se genera un boletín agroclimático que contiene la predicción climática, su posible impacto en los cultivos para condiciones específicas en tiempo y espacio, asociado a recomendaciones como toma de decisión para cada sistema productivo.

Las Mesas Técnicas Agroclimáticas surgen a raíz de la creciente recurrencia de fenómenos de variabilidad climática (e.g. sequías, olas de calor, canícula, tormentas, heladas), que, junto con condiciones socioeconómicas de vulnerabilidad entre las familias rurales, limitan las condiciones de vida de estas y la de su seguridad alimentaria.

Basados en la información climática estacional que emite el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología INSIVUMEH especialmente mediante el registro de datos de estaciones meteorológicas y pronósticos estacionales, se analizan y emiten recomendaciones agroclimáticas que ayuden a disminuir los riesgos relacionados con la variabilidad climática esperada.

### **3.3. Productos de pronósticos meteorológicos**

El pronóstico meteorológico es una predicción del estado atmosférico para un período futuro en una área o región establecida. El pronóstico meteorológico también es conocido como predicción del tiempo, predicción meteorológica, pronóstico del tiempo, boletín meteorológico, entre otros.

- Elaboración de pronóstico meteorológico
  - Recolección de variables climáticas (lluvia, humedad, temperaturas, velocidad y dirección del viento).
  - Interpretación de modelos numéricos meteorológicos.
  - Interpretación de imágenes satelitales.
  - Actualización de índice de anomalía de presión atmosférica.
  - Asentamiento horario de datos.
  - Monitoreo constante de fenómenos atmosféricos.

Pronóstico aeronáutico: condiciones más probables pronosticadas con un período de validez de 24 horas en un área específica (aeródromo).

- TAF (pronóstico de aeródromo terminal)
  - Pronóstico verbal a pilotos civiles y militares
  - Carpetas de vuelo
- Pronóstico sinóptico: condiciones pronosticadas para un período de validez de 24 horas con una actualización cada 12 horas.
    - Boletín meteorológico diario (mañana/ tarde)
    - Boletín meteorológico semanal
    - Boletín meteorológico fin de semana
    - Boletines especiales
    - Boletines informativos
    - Cápsulas informativas

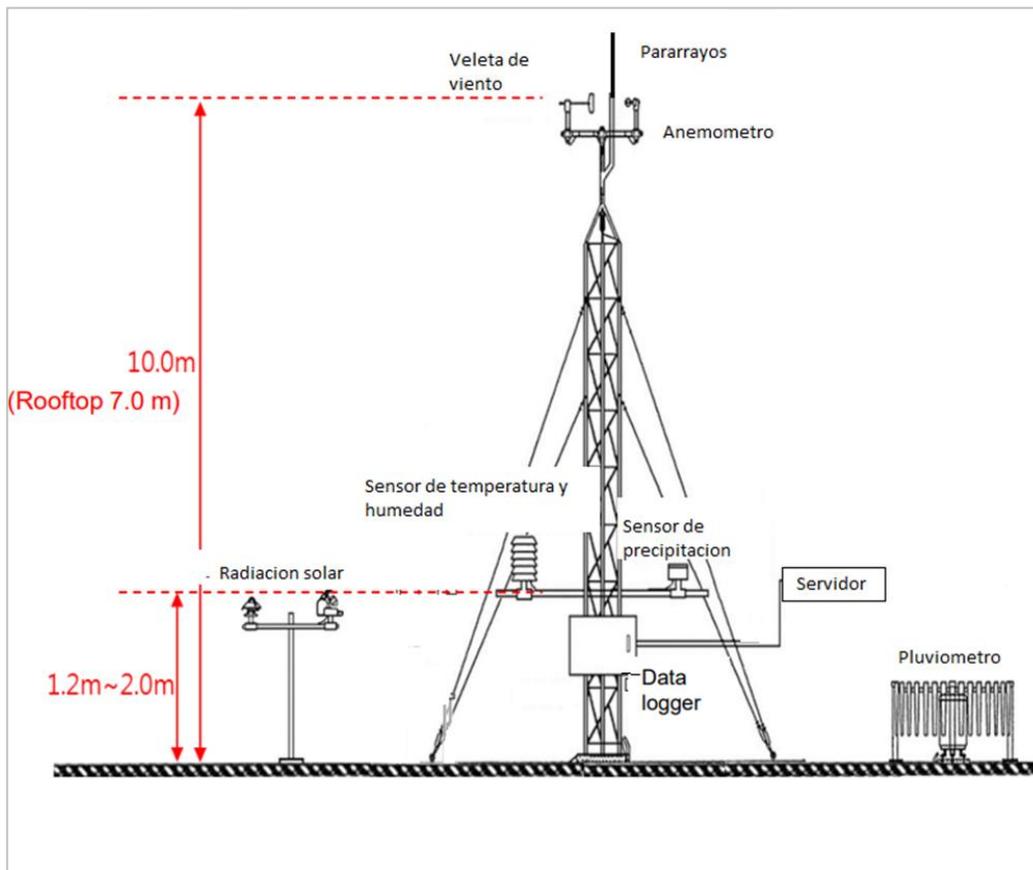
#### **3.4. Estaciones meteorológicas automáticas EMA**

La recolección de datos de superficie está a cargo de las estaciones meteorológicas automáticas o EMA. Este sistema está formado por un conjunto de instrumentos electrónicos que recolectan los datos de su entorno, respetando las especificaciones para instalación.

Cada estación meteorológica consta de una torre ubicada generalmente en el centro del sitio, con diferentes sensores según sean los datos que se requieran medir.

La estación utiliza un sistema de captación de datos, término que en inglés comúnmente llamado como data logger, es el cerebro de la estación, este recolecta la información de cada sensor para almacenarla y luego transmitirla.

Figura 19. Estación meteorológica EMA



Fuente: Korea Meteorological Administration. *Sistema estación meteorológica*. p. 42.

La condición inicial, de bus libre, es cuando ambas señales están en estado lógico alto. En este estado cualquier dispositivo maestro puede ocuparlo, estableciendo la condición de inicio.

Esta condición se presenta cuando un dispositivo maestro pone en estado bajo la línea de datos (SDA), pero dejando en estado alto la línea de reloj (SCL).

La institución cuenta con varios proyectos de estaciones meteorológicas. Entre estos cabe mencionar que el más grande hasta entonces llevo a cabo la instalación de más de 60 estaciones en el territorio nacional, dicho proyecto se llevó a cabo desde el año 2010, este proyecto logro automatizar el proceso de recolección de datos.

La mayor dificultad presentada en la sostenibilidad de este proyecto es que carece de estandarización y viabilidad para un mantenimiento correcto de los equipos. Entre los detalles a tomar en cuenta están:

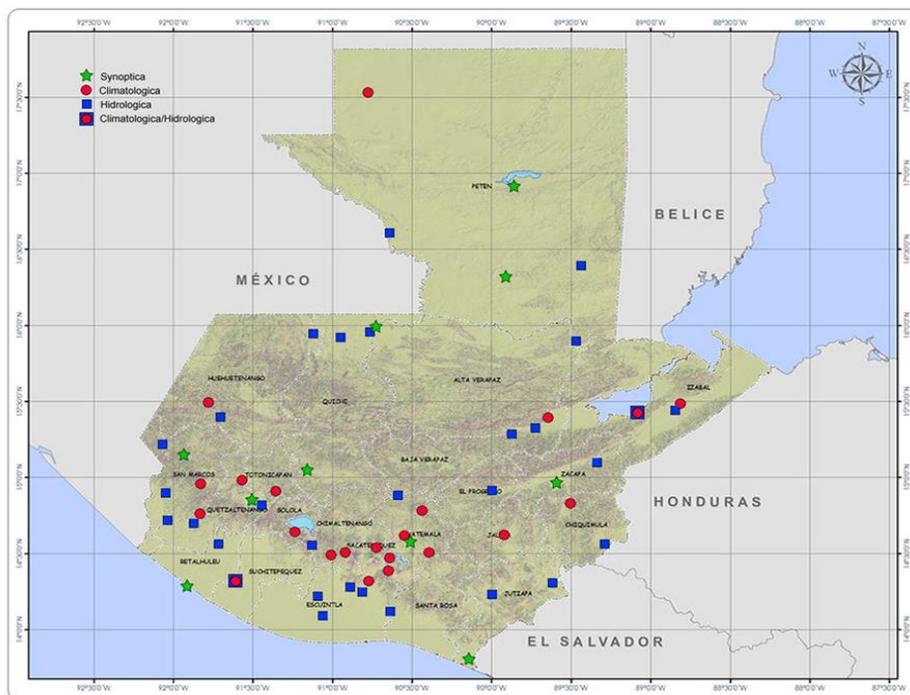
- Software privativo: el vencimiento de licencias provoca la falta de actualizaciones en los programas utilizados dentro del sistema.
- Incompatibilidad con repuestos: la falta de información sobre los componentes de los instrumentos ha llevado a la compra de componentes que no son compatibles con el sistema, esto se debe en gran parte a que estas estaciones cuentan con protocolo RS-232 para lograr su configuración, pero por falta de actualización del sistema queda obsoleto con las nuevas versiones del sistema operativo en este caso de solamente es compatible con Windows XP.
- Presupuesto: la institución no cuenta con un plan de mantenimiento correctivo que incluya los repuestos de las estaciones, esto lleva a un mayor deterioro y errores en la recepción de datos.

- Vandalismo: generalmente los equipos son instalados en el territorio nacional sin vigilancia, y están vulnerables a ser robadas o dañadas.

Para mejorar la red de estaciones se han involucrado diferentes instituciones porque la información también le resulta útil al Ministerio de Ambiente, CONRED, entre otras instituciones.

Se ha trabajado para realizar diferentes proyectos que doten de estaciones meteorológicas, tomando en cuenta que los mayores retos para la institución son de agilizar la compra de equipos y repuestos, además de asignar el presupuesto necesario.

Figura 20. **Mapa de estaciones automáticas**



Fuente: INSIVUMEH. *Mapa de estaciones automáticas*. <http://insivumeh.com.gt>.

Consulta: 12 de junio de 2021.

Durante el periodo del proyecto se realizaron visitas técnicas a diferentes puntos del territorio nacional, y se observó el estado de las estaciones que fueron inspeccionadas.

Durante las visitas realizadas se puede observar las características de los equipos, la mayoría de las estaciones cuenta con sensor de humedad, temperatura, precipitación, radiación solar, viento.

Se registra que la mayoría de estas estaciones fueron instaladas hace más de 10 años y el deterioro es notable, tanto en el cableado de cada sensor, como en la superficie de todos los equipos.

Cabe destacar que se realiza una revisión interna y en la mayoría de las estaciones se encuentra el mismo sistema por lo que, se analizan los siguientes aspectos que han provocado las fallas más recurrentes sobre estos sistemas.

Se crea un registro de las fallas más comunes que se detectaron en cada uno de los sistemas:

- Modulo todo en uno: La mayoría de las estaciones cuenta con un módulo de adquisición de datos o data logger, está integrado a una placa madre junto a los demás módulos, como el módulo de comunicación, el módulo de alimentación.

Esto hace que al momento de alguna falla en uno de estos sistemas provoca una falla general, dejando la estación paralizada.

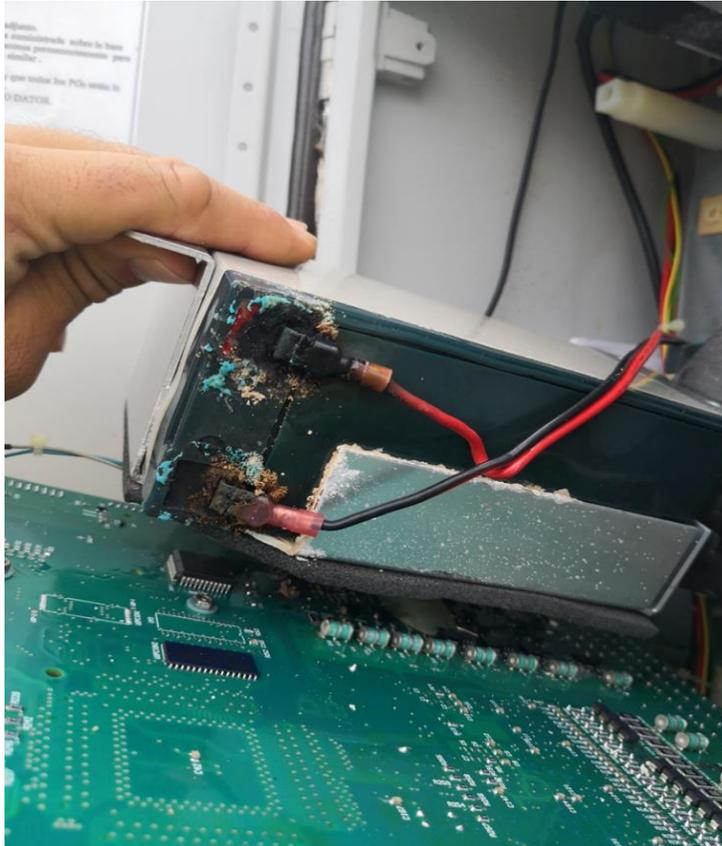
Figura 21. **Data logger estación meteorológica**



Fuente: elaboración propia.

- **Baterías de respaldo:** Se puede observar que las estaciones cuentan con dos baterías, generalmente se usan de ácido, y al estar expuestas a cambios de temperatura extrema y humedad estas se van deteriorando, provocando que el contenido interno de la batería brote al exterior causando corrosión en los cables y precinto de protección, lo cual ha llegado a provocar corto circuito.

Figura 22. **Batería de alimentación para EMA**



Fuente: elaboración propia.

- **Batería interna:** Las estaciones cuentan con una batería recargable de litio, esta se encuentra en el interior, su función es mantener almacenada la información y configuración del sistema en caso se encuentre alguna falla en el sistema, porque se han encontrado descargadas y al momento de que se reestablece la energía, muchas de las estaciones dejan de transmitir los datos por falta de configuraciones.

Figura 23. **Batería interna**



Fuente: elaboración propia.

- Módulo de comunicación GPRS: Cada estación cuenta con un módulo GPRS el cual está conectado con un conector de 50 pines, que va directamente en la placa madre. La configuración de este módulo es directamente con el software que utiliza la estación. Provocando dependencia y dificultad al momento que este se pierde la configuración por falta de energía.

Figura 24. **Módulo de comunicación GPRS**



Fuente: Geonica. *Manual GPRS estación Geonica*. p. 4.

- Módulo de comunicación satelital: Este módulo quedó obsoleto debido al cambio de tecnología satelital, que fue a partir del lanzamiento del nuevo satélite GOES-16, anteriormente se comunicaba a través del satélite GOES-13. Con esto se pierde un método de envío de información de datos.
- Cable para configuración Rs-232: Para la configuración de los equipos se utiliza comunicación serial, utilizando un módulo especial de que fue brindado por el fabricante, únicamente se cuenta con dos de estos los cuales funcionan únicamente con versión de Windows XP. Lo que provoca lentitud al momento de realizar los mantenimientos y configuraciones.

Figura 25. **Cable de comunicación RS232**



Fuente: elaboración propia.

- Sensor de temperatura y humedad: Los sensores de humedad y temperatura en esta marca de estaciones se ha encontrado resguardado en el mismo protector, ha sido diseñado de esta manera para eliminar un conector. Pero debido a la falta de limpieza y mantenimiento de estos dos sensores, se han encontrado fallas en el registro de datos, provocado por suciedad e insectos.

Figura 26. **Protector para sensor**



Fuente: elaboración propia.

El sensor de temperatura y humedad se encuentran ubicados en un mismo cuerpo, esto con la finalidad de obtener ambos datos en la misma posición, sin

embargo, estos se encuentran cubiertos por una capa de polvo que entorpece los datos que se requieren. El que se encuentra más afectado es el sensor de humedad debido a que este utiliza una tela protectora.

Figura 27. **Sensor de temperatura y humedad**



Fuente: elaboración propia.

- Falta de mantenimiento para sensor de precipitación: El sensor de precipitación es de los más importantes en una estación, pero por el sistema de captación de lluvia este está expuesto a que se bloquee la entrada de agua por suciedad o insectos, hacia el balancín, provocando

error en los datos. Se tiene este inconveniente con las estaciones cercanas a los volcanes porque la ceniza es más espesa y cae con mayor frecuencia. Para este tipo de sensores se realiza mantenimientos diarios por parte de los observadores y técnicos que visitan la estación.

Figura 28. **Sensor de precipitación**



Fuente: elaboración propia.

En el interior del sistema del sensor de precipitación se encuentran telarañas en señal a la falta de mantenimiento y limpieza de este equipo. Al mismo tiempo se puede notar que el balancín no está completamente horizontal,

esto provoca que la toma de dato sea incorrecta ya que la medida de agua que cae es menor a la que esta calibrado.

Figura 29. **Sistema de sensor de precipitación**



Fuente: elaboración propia.

La falta de mantenimiento y limpieza del equipo es notable al observar una capa espesa de ceniza, cabe destacar que la estación que se visitó esta ubicada cerca del volcán de fuego, y es necesario que su limpieza sea constante.

Esto provoca que el balancín contenga un peso extra y no realiza la lectura correcta de la lluvia.

Figura 30. **Entrada de agua sensor de precipitación**



Fuente: elaboración propia.

- Falta de mantenimiento de alojamiento: La mayoría de los sitios que se realizó visita técnica no son aptos para alojar una EMA, porque no cumple los requisitos, lo que provoca que los datos que se obtienen sean erróneos, muchos de estos alojamientos están ubicado dentro de plantaciones de árboles o bajo la sombra.

Figura 31. **Estación ubicada en plantación de banano**



Fuente: elaboración propia.

- Vandalismo robo de cobre para puesta a tierra: En gran parte la mayoría de las estaciones se encontró sin su protección a tierra, provocado por el robo de material utilizado para realizar las puestas a tierra. Es muy frecuente encontrar este inconveniente por la falta de seguridad y ubicación de las estaciones.

- Cables enterrados sin protección: Para los sensores que van ubicados lejos de la torre se encontró que únicamente el cable del sensor está enterrado sin protección, expuesto a ser cortado al momento de que se realice mantenimiento sobre la grama del sitio.
- Repuestos no compatibles: El inventario de repuestos en la institución es muy pobre y obsoleto, la mayoría de los repuestos que se encontraron en bodega no son compatibles con los sistemas actuales y por falta de proveedor local de la marca de las estaciones se ha perdido continuidad para los mantenimientos correctivos sobre las EMAs.

Figura 32. **Bodega de repuestos**



Fuente: elaboración propia.

### 3.5. Sistema de radar meteorológico

El Radar Meteorológico: RADAR (Radio Detecting And Ranging, Detección y medición a distancia a través de ondas de radio).

Es una herramienta optimizada para la detección de hidrometeoros (fenómenos atmosféricos perceptibles y que son consecuencia del vapor de agua que contiene el aire), y ceniza o polvo

Figura 33. Radar meteorológico de INSIVUMEH



Fuente: elaboración propia, empleando dron.

Tabla III. Información de radar INSIVUMEH

Ubicación	Instalado en Finca las Nubes, San José Pinula
Altura	2 500 msnm
Latitud	14°35011" (14,586389)
Longitud	90°31058" (-90,532778)
Tipo	S-Band, polarimétrico con capacidades Doppler

Fuente: elaboración propia.

La institución cuenta con un radar meteorológico de Banda S tipo Doppler. Esto significa que la banda de operación del radar oscila entre los 2 a 4 GHz. Los equipos de radar en esta banda necesitan una potencia de transmisión mayor a la usada en los rangos más bajos de frecuencia para lograr un alcance máximo bueno.

Figura 34. Rango de onda y frecuencias



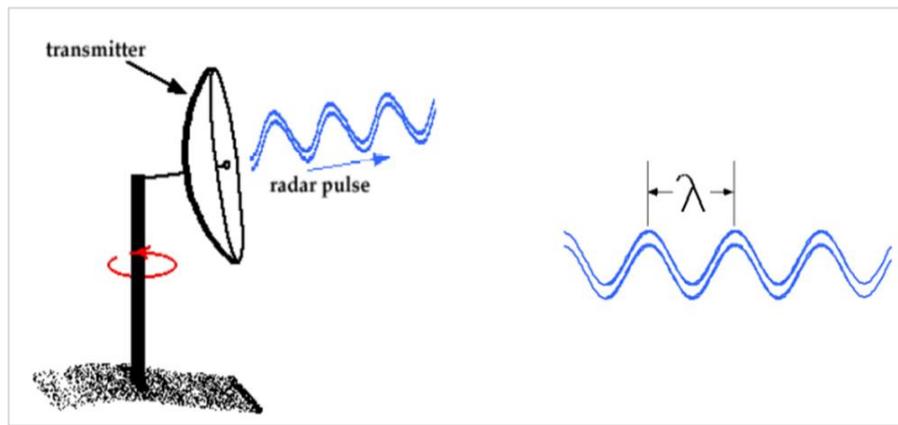
Fuente: Radar tutorial. Ondas y rangos de frecuencia.

<https://www.radartutorial.eu/07.waves/Ondas%20y%20Rangos%20de%20Frecuencia.es.html>

Consulta: 15 de junio de 2021.

El radar crea un pulso de energía electromagnética que es enfocado por una antena y transmitido a través de la atmósfera. La longitud de onda de la energía emitida es  $\lambda$ .

Figura 35. **Funcionamiento del radar**



Fuente: Radar tutorial. *Ondas y rangos de frecuencia.*

<https://www.radartutorial.eu/07.waves/Ondas%20y%20Rangos%20de%20Frecuencia.es.html>

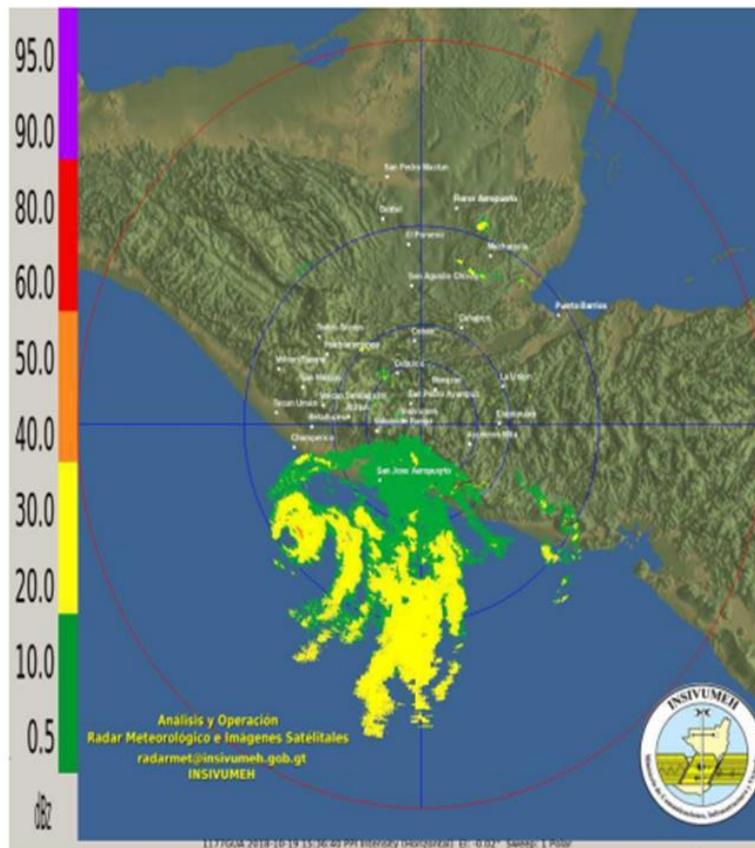
Consulta: 15 de junio de 2021.

Los radares son las herramientas principales de los pronosticadores. Estos emiten un pulso electromagnético a la atmósfera. El radar es capaz de detectar los ecos que regresan con una fracción de la energía de la radiación emitida. Esta fracción de energía es llamada reflexión.

Los radares necesitan de información terrena, es decir datos de las estaciones meteorológicas automáticas para poder realizar una auto calibración. Esta calibración se hace en base a los datos que se obtienen de ambos sistemas y luego se hace una interpolación que demuestra si el dato del radar coincide con el dato de la estación.

Teniendo esto en cuenta se pueden realizar mejores pronósticos en tiempo real detectando los cambios en el ambiente y siguiendo las imágenes.

Figura 36. **Imagen procesada del radar meteorológico**



Fuente: IXCAMPARIJ, Joel. *Radar rango largo*.

<https://insivumeh.gob.gt/meteorologia/radar/radar-meteorologico/rango-largo-465km/>.

Consulta: 20 de octubre de 2021.

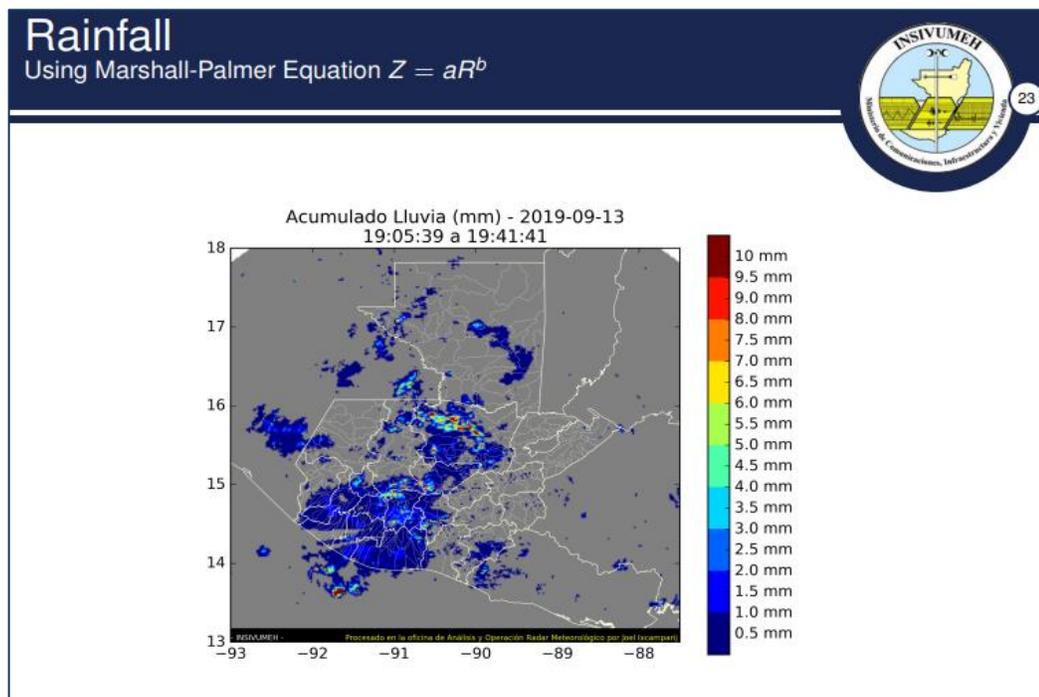
El radar genera un archivo tipo JSON, y es almacenado en servidores de INSIVUMEH, el peso de este archivo puede ser entre 2 a 5 Gb por producto, y se generan alrededor de 300 productos diarios, esto llega a ser un inconveniente sobre el almacenamiento local, por dicho inconveniente los operadores han

automatizado procesos con el uso del lenguaje de programación PYTHON y manejado sobre el sistema operativo de LINUX.

Un ejemplo es la forma como se procesan las imágenes de radar, se aplican fórmulas de los estudios realizados en meteorología y se crea un pronóstico en base a esto, se puede calcular la velocidad que el cuerpo nuboso se dirige, esto es de gran ayuda para pronósticos de alerta temprana por el hecho de poder conocer la densidad de partículas de agua en la atmosfera.

Se pueden crear pronósticos por medio de escalas que identifican los colores de densidad, para conocer los posibles puntos donde se convierta en precipitación.

Figura 37. Imagen procesada en Python



Fuente: IXCAMPARIJ, Joel. *Procesamiento de imágenes*. p. 10.

### 3.6. Imágenes satelitales

GOES-16 pertenece a la serie GOES-R, satélites geoestacionarios de la NASA y la NOAA National Oceanic and Atmospheric Administration.

- 16 canales de 2 km de resolución cada 10-15 minutos (América), y de 1 minuto para CONUS (USA).
- Sensor de detección de relámpagos (minuto a minuto).
- Monitoreo atmosférico constante. I SUVI y otros.
- 16 canales diferente para ver diferentes aspectos de la atmósfera.
- Órbita geoestacionaria, permite actualización de imágenes cada 10 a 15 minutos (América) y cada minuto para CONUS (USA).
- Órbita geoestacionaria siempre viendo el mismo sector de las Américas.

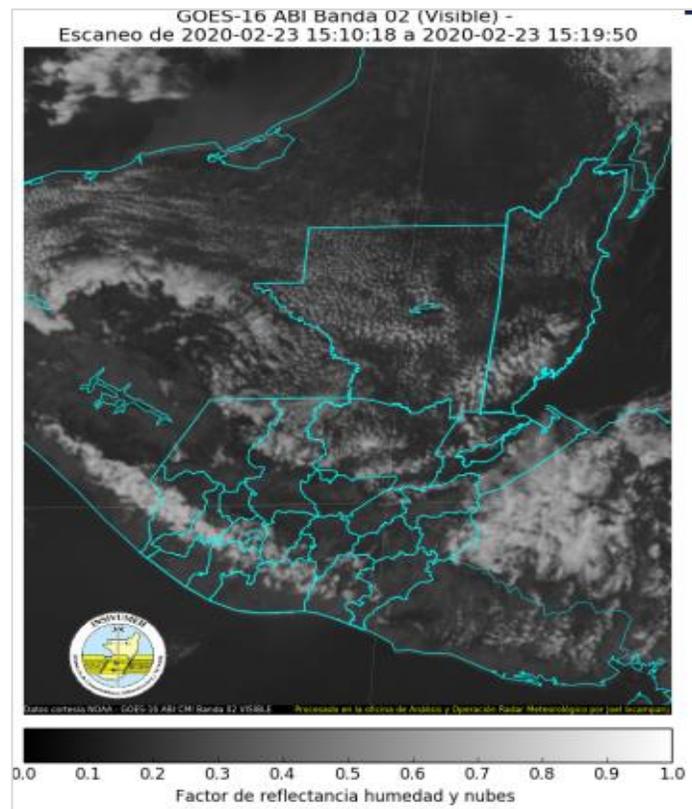
Figura 38. **Satélite GOES-16**



Fuente: NASA/NOAA. *GOES-R series spacecraft Overview*. <http://www.goes-r.gov/spacesegment/spacecraft.html> (image link), archived source website. Consulta: 15 de junio de 2021.

- Tipos de banda del GOES-16: Se pueden combinar varias bandas, visible, infrarrojo corto o vapor de agua, e infrarrojo. Se obtienen composiciones falso color para poder resaltar diferentes aspectos detectados por los sensores del satélite GOES-16.
  - Banda visible: Las bandas visibles permiten ver durante el día la nubosidad sobre mar y tierra. No es posible ver nada durante la noche, por la ausencia de la radiación solar reflejando sobre la superficie.

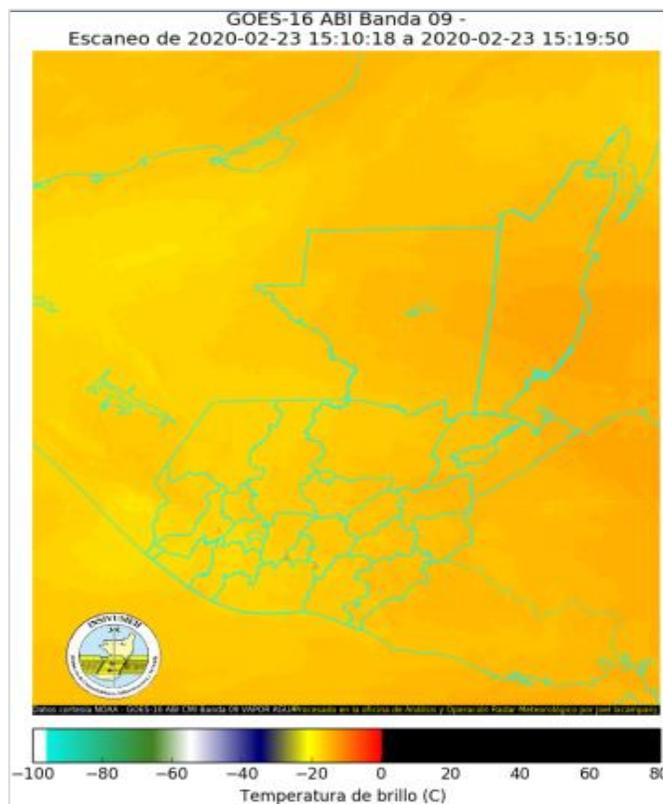
Figura 39. Imagen satelital banda visible



Fuente: IXCAMPARIJ, Joel. *Procesamiento de imágenes*. p. 15.

- Bandas vapor de agua: Las bandas de vapor de agua permiten ver la nubosidad y contenido de agua en varios niveles. Es posible ver durante la noche, no depende de la radiación solar reflejando sobre la superficie.

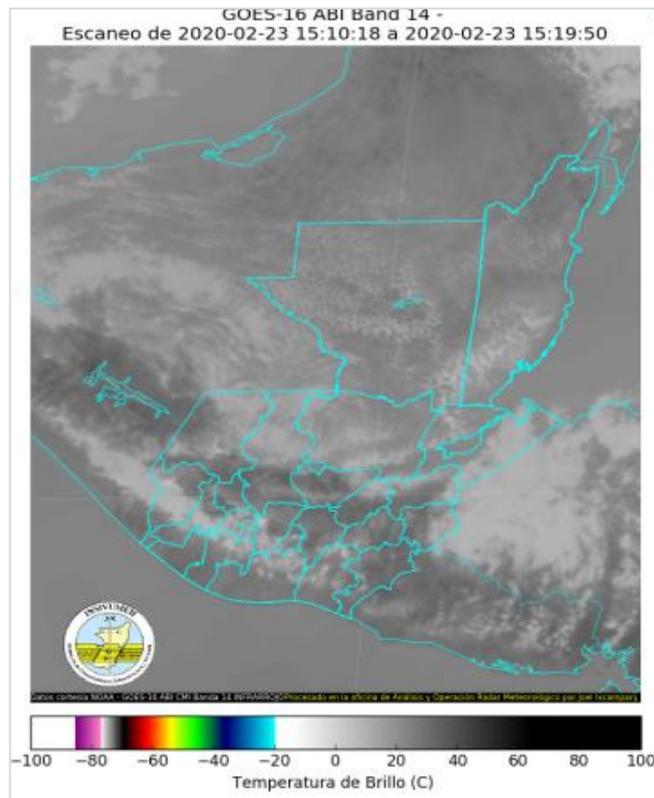
Figura 40. **Imagen satelital banda vapor de agua**



Fuente: IXCAMPARIJ, Joel. *Procesamiento de imágenes*. p. 17.

- Banda infrarroja: Las bandas de infrarrojo permiten ver la nubosidad y contenido de agua en varios niveles. Es posible ver durante la noche, no depende de la radiación solar reflejando sobre la superficie.

Figura 41. **Imagen satelital banda infrarroja**



Fuente: IXCAMPARIJ, Joel. *Procesamiento de imágenes*. p. 18.

### 3.7. **Análisis de los sistemas actuales**

Observaciones del sistema:

Actualmente se cuenta con una red de estaciones hidrometeorológicas, de estas, alrededor del 40 % están en funcionamiento o transmitiendo. En el transcurso de los años la tecnología ha avanzado a grandes pasos y se va teniendo problemas al actualizar los equipos, porque estos requieren una gran inversión.

- Se puede observar que el radar es un sistema muy complejo, y consta de personal técnico para operarlo adecuadamente, y llevar los mantenimientos de forma correcta junto a los equipos necesarios.
- Lo que se encontró durante el análisis, fue la falta de equipamiento para realizar pruebas y calibraciones al equipo, lo que lleva a no poder realizar los procedimientos adecuados para este.
- El radar meteorológico tipo Doppler banda S, es de los equipos más recientes y actualizados de la institución al cual se le debe explotar el uso en diferentes áreas tanto como en el área de meteorología, pronósticos y aeronáutica. Actualmente se encuentra en mantenimiento por falta de repuestos.
- Imágenes satelitales, la descarga de los volúmenes para crear los productos, se realiza a través de descarga de internet, hay equipos especiales que realizan este trabajo y se puede realizar la descarga directa a los servidores del INSIVUMEH.
- Se busca desarrollar estaciones de tipo modular con nuevas tecnologías, basadas en un software de código abierto que pueda ser modificado según lo que se requiera.

## 4. ESTUDIO PARA LA ESTANDARIZACION Y MEJORA DE LA RED EMA

Los requerimientos básicos para una estación meteorológica automática que van desde el suministro, instalación y puesta en funcionamiento.

### 4.1. Definición

Para el funcionamiento correcto de una EMA debe contener un data logger y sensores que mide las variables meteorológicas, que envía por medio de diferentes métodos de comunicación y todo este sistema debe ir alimentado por una fuente eléctrica tipo fotovoltaica.

Tabla IV. Partes de una EMA

Sensores:	<ul style="list-style-type: none"><li>• Velocidad y dirección del viento</li><li>• Humedad relativa del aire</li><li>• Presión atmosférica</li><li>• Temperatura del aire</li><li>• Precipitación</li><li>• Radiación solar</li></ul>
Sistema de Telemetría:	<ul style="list-style-type: none"><li>• Transmisor satelital</li><li>• Modem GPRS</li><li>• Radio frecuencia</li><li>• Data logger</li><li>• Software para adquisición de datos</li></ul>

Continuación de la tabla IV.

Sistema de alimentación Eléctrica:	<ul style="list-style-type: none"><li>• Recinto de protección</li><li>• Panel Solar</li><li>• Corriente alterna</li><li>• Batería</li><li>• Regulador de voltaje</li></ul>
Sistemas Complementarios:	<ul style="list-style-type: none"><li>• Una torre de 10 m de alto</li><li>• Un sistema de puesta a tierra con Dispositivo de interceptación aérea (pararrayos)</li><li>• Un cerco perimétrico con malla galvanizada de 2" x 2" de cocada y alambre N°12 y de 6 x 6 m por lado, por 1,80 m de alto</li></ul>

Fuente: elaboración propia.

## 4.2. Sensores

La medición de cada sensor cuenta con varias funciones:

- Datos instantáneos
- Datos promedio
- Datos promedio vectorial
- Datos acumulados
- Datos máximos
- Datos mínimos
- Datos provenientes de los cálculos indicados por el operador

Los requerimientos generales de los sensores para la estandarización del sistema son:

- Los sensores deben ser utilizar protocolos de comunicación capaz de poder adaptarse a cualquier data logger disponible.
- Todos los sensores deben contar con una construcción robusta para soportar la exposición en la intemperie, con materiales resistentes a la corrosión y exposición UV.
- Deben ser de aspecto modular, y cada sensor será independiente en la EMA, a modo que si se detecta una falla esta no afecte el funcionamiento de los otros instrumentos.
- Todos los cables de los sensores deben ser identificados correctamente con rotuladores, y deben soportar temperaturas extremas, ser impermeables al agua, resistentes a los rayos UV y posean la flexibilidad adecuada. Contar con protección contra interferencias y la longitud necesaria definida para cada sensor.
- Contar con certificado de calibración de fábrica o en su defecto tener una tabla de incerteza. Los sensores deben trabajar hasta 3 500 msnm o su equivalente isobárico. Los sensores digitales que realicen su propia conversión analógica/digital (A/D), deben considerar la resolución mínima de conversión del registro de datos o mejor.

#### **4.2.1. Sensor de velocidad de viento**

- La altura de medición estándar del viento será de 10 metros, y deberá incluir el cable con la longitud necesaria para su conexión.

- El sensor debe estar construido con material altamente resistente a la corrosión y a la radiación UV.
- Para minimizar el consumo de energía se debe crear intervalos de medición de 10 a 15 minutos, según sea requerido.
- El sensor tendrá capacidad de medición de ráfagas de viento.
- Para la medición de la variable de dirección y velocidad del viento el sensor puede ser integrado o por separado cada variable. Anemómetro y veleta.
  - Anemómetro
    - Rango de medición: 0 – 50 m/s o mayor.
    - Resolución: no mayor a 0,1 m/s
    - Exactitud: Mínimo  $\pm 0,3$  m/s o  $\pm 3$  % de la lectura, para lecturas de 0 hasta 35 m/s;  $\pm 5$  % de la lectura para lectura de 35 a 50 m/s.
    - Umbral: 0,4 m/s o menor.
  - Dirección del viento
    - Rango de medición: de 0 a 355° (rango eléctrico)
    - Resolución: 1° o menor
    - Exactitud: +/- 3° o mejor

#### **4.2.2. Sensor de humedad relativa del aire**

- La humedad relativa será medida con el método de transductor capacitivo, independiente al sensor de temperatura del aire.
- El sensor debe ir instalado con un protector o estructura de placas apiladas, utilizando una tela protectora que pueda ser retirada con facilidad.

Debe cumplir con las siguientes especificaciones:

- Rango de medición: 0 a 100 % HR
- Exactitud: +/- 2 % HR o menor, para el rango de medición de 0 a 100 %.
- RH en porcentaje (temperatura entre -10 °C a 40 °C).
- Estabilidad < 1 % RH / año.
- Rango de salida: Analógica de 0 a 1 VCC.

#### **4.2.3. Sensor de temperatura del aire**

- La temperatura debe ser medido por un transductor resistivo tipo platino (Pt-100), el cual debe ser independiente al sensor de humedad.
- Para estándar de conectividad debe usar medición de resistencia de 4 cables, que deben ir directamente conectados a la data logger.
- El sensor debe estar diseñado y construido de modo que permita la calibración en baño líquido.

- Se debe instalar en el interior de un protector de estructura de placas que evite los efectos de radiación solar.

Debe cumplir con las siguientes especificaciones:

- Rango de medición: -40 a +60 °C o mejor
- Exactitud: No mayor a +/- 0,2 °C en todo el rango
- Resolución: 0,1 °C
- Consumo de corriente  $\leq$  1 mA
- Protección IP67 (norma para sensor sumergible)

#### **4.2.4. Sensor de precipitación**

- El sensor de precipitación debe ser fabricado con material resistente a la corrosión y rayos UV.
- Debe realizar la medición con el principio de pesaje, logrando una mayor exactitud y resolución.
- Se debe ubicar a 1,20m sobre el nivel del suelo.
- Debe incluir un cable con la longitud necesaria para conectar a la data logger.
- El cableado debe estar bajo suelo con tubería para su protección.

- El sensor debe contener una malla de protección que cubra el área de colección interna, que evite la entrada de objetos sólidos que obstruyan el orificio de ingreso.

Debe cumplir con las siguientes especificaciones:

- Principio de medición: Por pesaje
- Área de colección: 200 cm<sup>2</sup>
- Alcance de precipitación (volumen de colección): 1 500 mm o mayor
- Alcance de intensidad: 20 mm/min o mayor
- Resolución en cantidad: 0,01 mm o menor
- Resolución en intensidad: 0,01 mm/min o menor
- Exactitud en cantidad: +/- 0,1 mm
- Exactitud en intensidad: +/- 0,1 mm/min
- Grado de protección de la celda de carga: IP64 o superior
- Interfaz de salida: SDI-12 o pulsos.
- Alimentación: 10 a 24 VDC, con protección contra polarización inversa.
- Consumo de corriente: Valor promedio de 8 mA a 12 VDC (menor a 100 mw).
- Material: acero inoxidable, aluminio y polietileno.
- Temperatura de operación: -40 °C a 60 °C, (considerando la boca).

#### **4.2.5. Sensor de radiación solar**

- El piranómetro debe contar con sus accesorios y pernos de nivelación.
- Debe incluir un cartucho de silica gel que mantendrá libre de humedad, y puede ser removido.

- El sensor debe contar con el brazo de soporte cuya longitud no sea menor a 1 m, y pueda fijarse al mástil.
- Debe incluir doble domo de vidrio.

Debe cumplir con las siguientes especificaciones:

- Elemento transductor: Termopila
- Rango espectral: 285 – 2 800 nm
- Sensibilidad: 5 – 20  $\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$  o mejor
- Impedancia: 20 a 200 ohmios o mejor
- Tiempo de respuesta: < 18 s Al 95 % del valor final
- No linealidad: < 1 % De 100 a 1 000  $\text{W}/\text{m}^2$  irradiancia
- Sensibilidad dependiendo de la temperatura
- <4 %, Variación en el rango de -10 a +40 °C
- Error de inclinación: <1 %
- Zero Offset A < 12  $\text{W}/\text{m}^2$
- Zero Offset B < 4  $\text{W}/\text{m}^2$
- Temperatura de Operación: -40 a + 80 °C
- Angulo de Medición: 180°
- Error direccional: < 20  $\text{W}/\text{m}^2$
- Máxima radiación: 2 000  $\text{W}/\text{m}^2$
- No estabilidad: < 1 % cambio / año

#### **4.2.6. Sensor barométrico**

- El sensor debe permitir la medición atmosférica dentro de la caja de protección donde se encuentra la data logger.
- La medición será por medio de un transductor de estado sólido de silicio.

- Debe mantener la estabilidad de largo plazo sobre toda la gama de temperaturas de funcionamiento.
- Debe compensar la temperatura para garantizar la exactitud requerida.
- La caja de recinto debe contar con una manguera para toma de muestra externa.

Debe cumplir con los siguientes parámetros:

- Rango: 500 a 1 100 hPa
- Exactitud: +/- 0,2 hPa o menor sobre el rango de temperatura.
- Resolución: 0,01hPa o menor
- Rango de temperatura de funcionamiento: -40 a + 60 °C o mejor
- Tipo de salida: SDI-12
- Parámetro de comunicación: 1 200 Baud
- Unidades: hPa
- Consumo: SDI activo: ≤7mA SDI en espera: ≤ 0,2 mA

#### **4.3. Sistema de telemetría**

El sistema de telemetría se refiere a él envío de los datos adquiridos por los sensores, hacia algún servidor local o en la nube, esta información puede ser enviada por diferentes medios, pero el fin es el mismo.

##### **4.3.1. Requisitos generales**

La estación debe ser capaz de interactuar recíprocamente con varios sistemas de comunicación actuales y debe tener la capacidad de tener un

sistema principal y uno de respaldo, porque la información es de vital importancia y siempre debe estar disponible, por lo que deben trabajar de forma simultánea e independiente.

#### **4.3.2. Telemetría vía satélite**

Con el fin de optimizar el acceso a la telemetría, la estación debe ser capaz de establecer enlace vía satelital. Para mejorar el enlace este debe establecer tiempo de envío de datos para ahorro de energía.

El sistema de transmisión vía satélite debe incluir antena, cables, conectores y supresores de voltaje. El transmisor deberá instalarse dentro de la caja de recinto junto al data logger.

#### **4.3.3. Transmisión vía satélite GOES**

- Utilizando la conexión a través del satélite GOES, se debe de equipar la EMA con un transmisor de alta velocidad de transmisión de datos, este debe ser aprobado por el servicio nacional de satélites.
- Debe ser apto de contar con los modos aleatorios y auto temporización.
- Los parámetros deben poder ser configurables para el ajuste del sistema de acuerdo con el usuario, para poder transmitir entre 300 a 1 200 bps.
- Junto al trasmisor debe tener incorporado un receptor GPS para poder sincronizar el reloj del programa receptor de datos.

- La transmisión de datos debe ser llevar la fecha y hora que se realiza la transmisión y la toma del dato.
- El formato de transmisión debe ser Pseudobinario.
- El transmisor debe incluir protección contra circuito abierto y corto circuito de la señal de salida del transmisor.
- El fabricante debe incluir los parámetros meteorológicos generados por la EMA los cuales se van a transmitir hacia el GOES.

El transmisor debe considerar las siguientes características:

- Formato del dato: ASCII y Pseudobinario
- Potencia de transmisión a 300 bps: 7 W o menor
- Indicadores de estado: Led indicadores de funciones múltiples
- Puertos de comunicación: Puertos RS232.

#### **4.3.4. Antena de transmisión tipo YAGI**

- La antena tipo Yagi cruzada debe ser ligera y resistente a la intemperie, y debe funcionar en el rango de frecuencia de 401.7 – 402.1 MHz.
- La ganancia de la antena debe ser de al menos 10 dB.
- La relación de onda estacionaria debe ser de 1,5 o superior.

- La antena debe estar equipada con protección de voltaje para proteger al transmisor GOES.
- Debe incluir cable coaxial RG-8, este debe ser tener una longitud mayor de 6 metros para ser instalada en la parte superior del mástil, y debe llevar sus conectores tipo N.

Las consideraciones a tomar son las siguientes:

- Tipo: Yagi Cruzada
- Frecuencia Central: 401,8 MHz
- Impedancia: 50 ohm
- Ganancia: 10 dB o mejor
- Viento máximo: 100 nudos
- Soporte: Base de antena regulable en azimut y elevación

#### **4.3.5. Sistema router modem celular**

- Para una mejor comunicación, tomando en cuenta la facilidad de conectividad en la banda celular, la estación debe contar con un modem capaz de ser configurado en ambas bandas.
- Debe tener diseño industrial capaz de adoptar hasta 32 bit de velocidad.
- Basado en tecnología 3G/4G.
- Debe contar con un mínimo de 2 puertos LAN para conectividad del data logger y otros equipos.

- El router debe contar como mínimo con una ranura para poder insertar una SIM.
- Debe soportar APN/VPDN acceso a red privada.
- Debe contar con la posibilidad de conectarse vía remota para realizar ajustes y control de los puertos.
- El cuerpo del equipo debe ser metálico, y tener soporte para conectar a tierra física para evitar daños por sobre voltajes.

Tomar en cuenta las siguientes características de conectividad.

Tabla V. **Requerimientos de red**

Red			
Celular	LTE/WCDMA/EDGE/GPRS	Banda	Cumplida en todo el mundo
LAN	ARP, Ethernet	WAN	IP estática, DHCP, PPPoE
Acceso a Internet	APN,VPDN	Autenticación	CHAP/PAP/MS-CHAP/MS-CHAPV2
WLAN	IEEE 802. 11b/g/n		
Protocolos de red		Integración	

Continuación de la tabla V.

IP	Servidor/Cliente/ Relé DHCP, Relé DNS, IPv6	Función DTU	Modbus TCP (esclavo/maestro)
Enrutamiento	Enrutamiento estático, enrutamiento de políticas, opcional (RIP, OSPF y BGP)		Transmisión transparente TCP/UDP estándar TCP/UDP (DTU de conexión LAN)
Otros	ICMP, DDNS, VLAN		

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Especificaciones de alimentación eléctrica**

Energía		Ambiente	
Entrada	+5~+36VCC	Humedad relativa	<95 % (sin condensación)
Inactividad	Aproximadamente 200mA y 12VCC	Almacenamiento	-40 ~ +85 °C
Funcionamiento	Aproximadamente 550mA y 12VCC	Funcionamiento	-30 ~ +70 °C

Fuente: elaboración propia.

#### **4.3.6. Data logger**

Debe contar con interfaces para cada sensor. En los que contengan puertos de entrada y salida analógicos y digitales.

Características mínimas para los puertos analógicos y digitales:

- Contar con un mínimo de 16 entradas analógicas simples que podrán configurarse en 8 puertos diferenciales.
- Los puertos analógicos pueden ser fijos o con un módulo de expansión según sea requerido.
- Contar con conteo de pulso digital mínimo 1.
- Puerto RS-232 un mínimo de 3.
- Puerto digital SDI-12, 1 o más.
- Puerto digital RS-485.
- Se usarán 3 puertos RS-232, uno exclusivamente para la conexión hacia una computadora para su mantenimiento, en su defecto puede ser sustituido por USB.

Las interfaces de los sensores deberán proporcionar las siguientes funciones.

- Conversión A/D, analógica a digital, con resolución no menor a 16 bits, siendo posible configurar los puertos analógicos de manera diferencia, simple o según sea la necesidad.
- Se podrá configurar los intervalos de medición entre 1 segundo a 24 horas.

- El data logger debe ser capaz de aceptar nuevos módulos de expansión de puertos.
- Para la configuración de los puertos y sensores debe ser independiente, para poder realizar ajustes en coeficientes de calibración.
- Para la alimentación de los sensores debe estar identificado el módulo, y tener puerto de expansión para puertos de alimentación, estos deben oscilar entre 3 a 5 V según sea requerido por cada sensor.
- Para los sistemas que utilizan referencia de potencial el registrador debe contar con modulo asignado.
- Cada conector debe poder ser retirado con facilidad, así mismo debe poder ser retirado el módulo de conector.
- El módulo de conector debe ser de material resistente, anticorrosivo y contra los UV.
- Cada conector debe ser identificado según sea el puerto.
- Para los sensores resistivos debe ser capaz de ser configurado por medio de ajustes en el voltaje de referencia. Esto puede ser realizado con el software incluido.
- La comunicación serial debe ser de mínimo 3 puertos para configuración de sensores y conexión local.

- La conexión para configuración local puede ser con puerto RS-232 o USB, que permita ingresar por medio de una PC portátil, usando el interfaz de configuración podrá realizar actualizaciones del firmware, descarga de datos y monitorear el funcionamiento de la unidad en tiempo real.
- Al momento de la conexión este puede ser capaz de realizar diferentes cambios en la programación, así como cálculos y operaciones de la comunicación.
- Mientras esté conectado en forma local, el data logger debe seguir sus procesos ininterrumpidamente hasta que se cargue la nueva configuración.
- Debe contener el cable de conexión mínimo de 3 metros para trabajar dentro del área donde estará ubicada la estación.
- Las interfaces de comunicación podrán ser configuradas, así como la velocidad en baudios, número de *bits* y velocidad de transmisión de datos, como los intervalos de transmisión hacia el servidor.
- El proveedor debe incluir el software para configuración, y debe ser compatible con sistema operativo de Windows 7 o superior.
- Este software de configuración debe ser capaz de leer, recuperar, archivar y visualizar los datos, de manera remota y local.
- El data logger debe contar con un reloj de tiempo real.

- Debe contar con una batería interna que ayudará a guardar los datos de configuración en caso de cortes de energía.

El formato horario será de UTC.

- El reloj de la data logger debe ser configurable de manera local y remota
- Para la inspección en campo, debe contar con un teclado que ira conectada directamente y podrá revisar los datos en una pantalla LCD.
- Para el almacenamiento de datos, debe contar con capacidad de memoria interna y memoria externa como una SD o memoria USB.
- En caso de cualquier falla este sistema de almacenamiento puede ser retirado y poder obtener los últimos datos registrados.

Para la transmisión de datos debe contar con mínimo de un medio de comunicación estable, seleccionando la opción más viable, y contar con un sistema de respaldo que podrá conectarse a la estación al momento de falla del primero.

- Los medios de transmisión de datos pueden ser entre satelital, GOES, comunicación TCP/IP, modem celulares GPRS, modem de radio frecuencias (VHF y UHF).
- La transmisión de datos debe ser definida por el usuario, pero también debe ser capaz de enviar a solicitud.

- Contar con una función de alarma, que pueda ser configurable con varios parámetros, como batería baja, falla en alguno de los sensores, entre otros.

La configuración de alarmas debe contener lo siguiente:

- Capacidad de configuración de los umbrales, que serán definidos por el usuario.
- La alarma se activa cuando se presente algún cambio inesperado o falta de datos.
- La alarma puede ser activada o desactivada de manera remota.
- Debe tener un registro de las alarmas que se han presentado.
- Al momento de algún cambio que active la alarma esta puede ser configurada para activación de módulos externos como relés, luces de emergencia, entre otros.

El data logger puede ser configurado para realizar cálculos estadísticos.

- Cálculo de valores promedio durante periodos de tiempo definido
- Registro de datos de valores mínimos y máximos
- Cálculo de desviación estándar por medio de periodos definidos

El software para configuración debe contener diferentes características para su uso y manejo.

- Tener una biblioteca de sensores que se pueda seleccionar según sea la característica del sensor.
- Capacidad de configurar nuevas definiciones para sensores que no se encuentren dentro de la biblioteca.
- Tener un sistema de programación de alarmas para configurar cada sensor.
- Selección de cálculo y conversión de unidades.
- Formato libre para datos producidos, pueden incluir datos y texto ASCII en cualquier combinación.

#### Software para adquisición de datos

La EMA debe contar con requerimientos mínimos de hardware y software para su configuración y adquisición de datos.

- El diseño de la estación debe ser modular para permitir el cambio o reposición de cada uno de sus componentes. Sin que este afecte el funcionamiento de los otros.
- Todos los sensores y componentes deben ser compatibles con el programa de adquisición de datos.

Se debe cumplir con el mínimo de los requisitos:

- Debe contar con un procesador de 32 bits o superior.

- Todos los puertos analógicos conectados a sensores medirán con una exactitud mínima de conversión A/D de 16 bits y convertir los datos medidos en unidades de ingeniería.
- Debe ser completamente configurable por el usuario.
- Debe permitir al usuario configurar funciones de alarma que se activen cuando cualquier parámetro medido o calculado supere valores de umbrales y razón de cambio, que podrán ser incorporados por el usuario durante el tiempo de uso del equipo.
- Registrar los datos en formatos a intervalos configurables por el usuario.
- Proporcionar funciones que permitan el mantenimiento como el acceso al diagnóstico interno, y a los datos almacenados.
- Proporcionar el software de configuración que se ejecute sobre el sistema operativo Windows de Microsoft versión 7 o superior, que permita el acceso a todos los parámetros necesarios para la configuración de la estación automática.
- La PCD debe soportar los siguientes tipos de comunicación: satelital (GOES), modem Ethernet (TCP/IP), módems de radio (VHF o UHF), módems de línea dedicada, módems celulares (GSM-GPRS), y módems de la Red de Telefonía Pública (ADSL).

#### **4.4. Sistema de alimentación eléctrica**

La EMA debe contar con un sistema de alimentación adecuado, este debe ser adaptado según sea su ubicación, así mismo se cuenta con un sistema de respaldo porque la mayoría de estos equipos están ubicados en áreas rurales, la falta de energía eléctrica es muy común, por lo que se debe contar con un sistema que pueda soportar un cierto tiempo de autonomía para poder resguardar los datos lo mejor posible.

##### **4.4.1. Baterías**

En una EMA las baterías son la fuente de alimentación de respaldo, y deben incluir ciertas características que ayudará a mantener la estación en funcionamiento por un lapso, debido a la falla provocada en los sistemas de alimentación eléctrica.

Las baterías deben ser recargables, selladas y libre de mantenimiento.

- Todas las conexiones de alimentación de energía eléctrica deben contar con protección de voltaje inverso y protección de corto circuito para prevenir daños accidentales en el sistema.
- Las baterías deben tener como mínimo una autonomía de 30 días sin necesidad de recargarse.
- El material de las baterías debe ser de gel, por su mejor rendimiento.

#### **4.4.2. Alimentación eléctrica**

Los sistemas de alimentación en una EMA dependerán tanto de la ubicación en la que se encuentre, como el consumo de los equipos que utiliza, se deberá realizar un estudio previo a la elección del suministro de energía, pero se debe contar con requisitos mínimos según sea el tipo de alimentación.

- Panel solar
  - El panel solar debe contar con al menos 8 metros de cable, conector y elementos de montaje, que deberá ser fijado en el mástil, este debe tener la capacidad de regular su ángulo.
  - No debe tener incorporado el regulador de voltaje, este será modular.
  - La potencia mínima con la que debe contar es de 30 W.
  - El panel debe estar fijado al mástil con la capacidad de soportar vientos de hasta 60 m/s.
  - El proveedor debe realizar un estudio de consumo energético que llevara la EMA, según sean los módulos que tendrán alimentación.
  - Los paneles deben proporcionar al menos 5 veces el consumo de energía media de todo el sistema.
  
- Regulador de voltaje
  - El regulador deberá contar con entrada para alimentación desde el panel solar o A/C.
  - Las salidas de alimentación deben cumplir con los voltajes requeridos de la estación que oscilaran entre 3 a 12 V.
  - Debe contar con un indicador del estado de la batería.

- Tendrá un sistema de alarma en caso alguna falla o falta de suministro de energía.
- Este debe ser modular, y que pueda ser retirado y reemplazado de manera fácil.
- Debe soportar una corriente de carga mayor o igual a 4 A.

#### **4.5. Sistemas complementarios**

Como sistemas complementarios se refiere a todos los elementos necesarios para la instalación del equipo, todos estos deben cumplir ciertos requerimientos mínimos para su instalación.

##### **4.5.1. Recinto de protección**

La protección contra la intemperie es importante en las EMAs para un buen funcionamiento, este debe ser de material resistente a corrosión y rayos UV, así mismo con sus debidas protecciones a sobrevoltajes, humedad e insectos.

Los equipos dentro del recinto serán el data logger, sensor de presión, equipo de telemetría, equipo de regulación de voltaje, y su batería. Los requerimientos para estos equipos deben ser los siguientes:

- Debe cumplir con las normas NEMA-4 p IP-56
- Todas las conexiones eléctricas que provienen del exterior deben ir a través de conectores impermeables en la parte inferior de la caja de protección.

- Cada puerto y su cable debe ir debidamente identificado.
- La caja de protección puede ser de material metálico, plástico o fibra de vidrio. Con sello de fuga.
- Debe contar con los conectores adecuados para fijar la caja en el mástil, a una altura accesible al operador entre 1 a 1,7 metros.
- Todo el cableado que va en el interior de la caja de precinto debe ir dentro de conductos, para no quedar cables sueltos que puedan provocar algún corto circuito.
- Cada módulo dentro de la caja debe tener un contacto con la puesta a tierra, que permita evitar los sobrevoltajes.
- La EMA deberá estar protegida por sobrevoltajes causados por rayos en cada línea de entrada, tanto como de los sensores, líneas de alimentación eléctrica y de comunicación.
- El sistema será modular para poder realizar cambio de cualquier dispositivo dentro de la caja de precinto sin interferir con los demás equipos.
- La caja debe contar con una placa de metal o rieles en los que se puedan ubicar los módulos de los equipos.

#### **4.5.2. Torre metálica**

La torre debe tener los siguientes requerimientos:

- Altura de 10 metros
- Libre de mantenimiento
- Sección triangular
- Diseño estructural apto para soportar vientos de hasta 60 m/s
- El cuerpo debe estar construido con metal como aluminio anodizado o acero inoxidable y con pintura para exterior.
- Los accesorios metálicos tales como pernos, tuercas, abrazadera entre otros deben estar hechos con acero inoxidable.
- El mástil debe estar sujetado con tuercas a la base.
- El cuerpo de la torre debe tener secciones en forma de escalera.
- Debe contar con anclajes de fijación, cada cable debe tener una resistencia de ruptura igual o mayor a 25 kN (kilo newton).
- Contar con un sistema de protección de rayos que permita colocar la puesta a tierra dentro de la estructura.
- La tubería utilizada en la torre debe permitir la fijación de los soportes de cada equipo utilizado.

### **4.5.3. Sistema de seguridad eléctrica**

El sistema de seguridad eléctrica debe cumplir con lo siguiente:

- Se debe incluir en la parte superior de la torre un equipo de para rayos, este debe contar con sus respectivos accesorios de bajada, aisladores.
- El cable de bajada no debe ser menor al calibre 16.
- El cable de bajada debe contar con conexión con empalmes de compresión en el que se pueda conectar el precinto de protección.
- Debe llegar a una barra equipotencial.
- Todos los equipos deberán tener conexión con el sistema de protección de líneas.

### **4.5.4. Cerco perimétrico**

Todos los equipos deben ir dentro den una malla de protección que tendrá las siguientes características.

- Material de tubo de acero con recubrimiento galvanizado
- Dimensiones de 6 x 6 metros, a ejes de los tubos posicionados en las 4 esquinas.
- El cerco perimetral deberá estar conformado por:

- postes esquineros de acero galvanizado de 3".
  - 8 postes internos de acero galvanizado con diámetro de 3".
  - Una puerta para el acceso con medidas de (95 cm x 170 cm) con malla de 2"x2".
  - 23 metros lineales de malla con alambre No. 12 de 2"x2" por 2 metros de altura.
  - Dos argollas entre la puerta y poste para poder colocar un candado de seguridad.
- Limpieza / nivelado del terreno.

Eliminar malezas y residuos sólidos en área aproximada de 25x25 m<sup>2</sup>, en cuyo centro se instalará la estación de 6x6 m<sup>2</sup>, adicionalmente se nivelará el terreno donde se instalará la estación, eliminando vacíos y salientes, tratando de minimizar los impactos al medio ambiente natural.

- Movimiento de tierras.

Realizar las excavaciones para la cimentación corrida del perímetro, del mástil abatible, del anclaje, del sensor de precipitaciones, que conforman la estación

- Malla.

Alambre Galvanizado # 12, Cocada de 2" x 2" y Altura = 2,00 m. En la parte superior se entrelaza un alambre galvanizado # 10 cuyos extremos se amarran a los postes para impedir la deformación de la malla; en la parte inferior se hace lo mismo, para evitar la entrada de animales.

En los extremos de la malla va una platina de fierro negro  $\frac{1}{4}$ " x  $\frac{3}{4}$ " x 2,00 m, que se sujeta al poste de la esquina o de la puerta, mediante 3 pernos templadores de  $\frac{1}{2}$ " x 6,5".

- Colocación de la malla.

Es muy importante colocar la malla cuando el concreto de los postes ya haya fraguado. Separar un panel de malla de acuerdo con la longitud que se va a cubrir. Entrelazar una platina a cada extremo de la malla y sujetadas a los postes mediante los pernos templadores. Entrelazar el alambre galvanizado a la parte inferior de la malla y asegurar ambos extremos a las platinas; realizar lo mismo en la parte superior

- Postes intermedios.

Tubo de acero con recubrimiento galvanizado 2,5" de 3,03 m. (2,63 m en forma recta; 0,40 m en ángulo de 45° en la parte superior). En la parte del ángulo de 45° estarán soldadas 2 argollas metálicas de  $\frac{1}{4}$ " espesor y 0,05 m de diámetro, distanciados 0,13 m para sostener el alambre de púas.

En la parte inferior del poste va soldado un anclaje de fierro corrugado de  $\frac{1}{2}$ ". El poste va empotrado 0,45 m, desde el Nivel de Terreno Natural.

- Colocación de los postes de las esquinas.

Vaciar una capa de concreto, luego sujetar el poste en posición vertical (controlar mediante nivel en dos direcciones perpendiculares entre sí), y realizar el vaciado restante

- Puerta.

La puerta deberá ser de 0,95 m x 1,70 m con tubos de acero Galvanizado de 2". La ubicación de la puerta corresponde a la parte central de uno de los laterales del cerco perimétrico.

En los tubos de acero galvanizado que conforman el perímetro de la puerta se soldara la malla galvanizado # 12, cocada de 2" x 2" y las bisagras de conexión en los postes laterales.

#### **4.5.5. Sistema de puesta a tierra**

- El proveedor deberá incluir los insumos para la construcción de la puesta a tierra con la finalidad de alcanzar una resistencia menor o igual a 8 ohm.
- Se debe realizar un estudio de la resistividad del suelo en cada sitio al que se realizara la construcción.
- Estos deben permitir el mantenimiento en periodo no mayor a 15 años.
- Debe adjuntar los elementos eléctricos con los cartuchos de soldadura exotérmica, para las uniones galvánicas de las varillas y los alambres de cobre.

Los insumos y materiales como mínimo a incluirse en la construcción de los sistemas de puesta a tierras de cada EMA, deberán considerar los siguientes componentes:

- Varilla de cobre de 5/8", pletina 20 mm x 2 mm o cable desnudo de cobre de un calibre no menor a 1/0.
- Bolsas de cemento conductor.
- Cartuchos de soldadura exotérmica.
- Caja de registro de PVC.
- Barras equipotenciales.
- Conectores normados.

#### Consideraciones para la instalación:

Antes de iniciar cualquier trabajo, verificar la resistividad de suelo por el método de Wenner en las direcciones norte y este, a fin de comprobar si existe variación con respecto a las mediciones realizadas en las etapas de inspección del terreno.

En caso se proponga contrapesos horizontales (pozo horizontal) estos no deben ser menor de una longitud total de 18 metros y de emplearse pozos verticales deben tener una profundidad de 2,4 m como mínimo y separados una distancia mayor o igual a 5 metros.

Para el contrapeso horizontal, la sección transversal de cemento conductor tendrá dimensiones de 15 cm x 6 cm y cable de cobre con diámetro no menor a 53,5 mm<sup>2</sup> de sección transversal. Los valores finales serán sustentados con el diseño propuesto para el cálculo de la resistencia del sistema de puesta a tierra.

El contrapeso (pozo), sea vertical u horizontal debe ser rellenado con tierra de cultivo y a caja de registro se colocará dentro del cerco de la EMA y de allí se conectará por medio de la barra equipotencial: la unión del contrapeso con el

cable del pararrayos, el cable proveniente del punto de tierra de toda la PCD y del cable de cobre proveniente del cerco metálico a fin de garantizar que todo el sistema sea equipotencial.

Luego de concluido la construcción del sistema de puesta a tierra se procederá a realizar las mediciones con un telurómetro a fin de verificar la resistencia del sistema de puesta a tierra, a través del método de la caída de potencial.

Para comprobar la exactitud de los resultados y garantizar que las picas están situadas fuera del área de influencia, volver a colocar la pica interna (sonda), moviéndola 1 metro en cada dirección y volver a realizar la medición. Si se produce un cambio importante en la lectura (30 %), se debe aumentar la distancia entre la varilla de toma de tierra que se está midiendo, la pica interior (sonda), y la pica exterior (toma de tierra auxiliar), hasta que los valores medidos sean lo suficientemente constantes al volver a colocar la pica interior (sonda).

Elaborar el protocolo de medición de puesta a tierra debiendo ser firmado por el Ingeniero Responsable de la medición. Este documento debe ir especificado y pasar los estándares necesarios.

#### **4.6. Instalación y ensamblaje de la estación meteorológica automática**

Las estaciones llevan un procedimiento específico para realizar la instalación, revisando el terreno y ambientando cada sensor en su lugar con las siguientes especificaciones:

- El proveedor instalara la EMA en los lugares indicados por el comprador, considerando los gastos que involucren dicha actividad.

- La torre debe ir ubicada en el centro del cerco perimetral.
- El sensor de precipitación será ubicado a 1,2 m sobre el nivel del suelo, y su cableado será subterráneo hacia la torre.
- El sensor de velocidad y dirección del viento será ubicado a 10 metros en la torre.
- La antena Yagi será ubicada en dirección con mayor señal.
- El panel solar se instalará con orientación al norte tomando en cuenta el ángulo de elevación correspondiente.
- La construcción deberá incluir un drenaje para evitar el estancamiento del agua.
- El proveedor deberá contar con vehículo para el traslado de todos los materiales y equipos para su instalación.
- Al momento de finalizar la instalación de todos los equipos, se debe realizar las pruebas de funcionamiento las cuales serán aceptadas por el comprador.
- Se dará un acta de aceptación por parte del comprador luego que se realice un listado correspondiente a las pruebas realizadas.
- Se debe realizar un listado de todos los materiales utilizados.
- El proveedor se hará cargo de todos los gastos que lleve la instalación de la estación.
- Se deberá entregar un kit de repuestos considerados según la oferta presentada.

#### **4.6.1. Pruebas funcionales de la EMA**

Estas pruebas se deben llevar a cabo para la aceptación de la instalación de estos equipos.

- Para la aceptación del proyecto se deben realizar un listado de pruebas que permita demostrar el debido funcionamiento de la estación.
- La verificación de toda la funcionalidad operativa de la estación.
- Pruebas de configuración de los sensores.
- Verificación de adquisición, procesamiento y almacenamiento de datos.
- Verificación de la comunicación hacia el servidor.
- Verificación de interfaces de usuario, tanto locales como remotas.
- El proveedor deberá entregar un protocolo de las pruebas a realizar para el debido mantenimiento de su equipo.

#### **4.7. Capacitación del personal de la institución**

Para el adecuado manejo de la EMA el proveedor deberá realizar una serie de capacitaciones con el personal que estará a cargo de los equipos.

Se verá dirigido al personal para poder realizar las siguientes actividades:

- Operación
- Diagnóstico de fallas
- Mantenimiento preventivo
- Mantenimiento correctivo
- Calibración de sensores
- fConfiguración del equipamiento

El periodo de entrenamiento mínimo estimado es de 2 días, acumulando 16 horas teórico-prácticas y debe incluir:

- La cantidad mínima de personal al que va dirigido el curso es 8.

- Descripción de los sensores ofertados: principio de funcionamiento, características técnicas, métodos de calibración y mantenimiento.
- Recolección de datos con una PC.
- Carga y descarga de archivos de configuración.
- Visualización de datos en campo.
- Descripción de la configuración:
- Ajuste de la hora y fecha.
- Cambio de nombre, ID.
- Habilitación de sensores.
- Configuración de sensores.
- Configuración de Alarmas.
- Acceso a datos de verificación de funcionamiento.
- Configuración de tipos de comunicación.

Para la programación de los archivos de configuración realizar las siguientes actividades:

- Prácticas de configuración de medición con sensores de entrada analógica, simple y diferencial.
- Prácticas de configuración de medición con sensores de entrada digital, conteo y frecuencia.
- Prácticas de configuración de medición con sensores de entrada serial.
- Prácticas de configuración de medición con sensores de entrada SDI-12.
- Prácticas de configuración de medición de datos instantáneos.
- Prácticas de configuración de medición de datos promedio simple y promedio vectorial.
- Prácticas de configuración de medición de datos máximos, mínimos y acumulados.

La programación de alarmas cuenta con las siguientes actividades:

- Prácticas de programación de alarmas de datos elevados y mínimos
- Prácticas de programación de alarmas de datos con variaciones elevadas

## 5. RED AUTOMÁTICA OPTIMIZADA

### 5.1. Implementación de plan para mejorar procesos de adquisición de datos

Se crea un plan en el que se toma en cuenta los sistemas que tiene actualmente la institución. Al ser las estaciones automáticas el principal sistema de adquisición de datos se debe estandarizar los procesos y controles que se llevan.

#### 5.1.1. Componentes para un área científica

De acuerdo con los estudios realizados se analiza una propuesta para mejorar los sistemas meteorológicos, cada uno está basado en interpretación para mejorar su efectividad demostrando que hay un amplio espectro de mejora.

Tabla VII. Componentes para un área científica

Estaciones automáticas	Desarrollo de actividad
Evaluación de equipos	Realizar una evaluación remota de los equipos y recuperar el histórico sobre lo que se encuentra en las estaciones.
Determinar problemas	De los problemas encontrados en las estaciones están la comunicación, y falta de repuestos.
Repuestos y mantenimiento	Se debe buscar adquirir estaciones EMA modulares para ir reemplazando los equipos actuales.

Continuación de la tabla VII.

Cambio de tecnología	Se debe seguir la guía de requerimientos para estandarizar la compra de estaciones y puedan estar contar con las nuevas tecnologías dentro del mercado como el IoT.
Monitoreo de estaciones	Establecer una computadora local como servidor para manejo de los datos de todas las estaciones automáticas.
Avisos en tiempo real	Crear programa especial para tener alerta sobre los sensores, y tener control sobre fallas en las estaciones.
Estaciones de bajo costo	Desarrollar estaciones a base de microcontroladores y tecnologías de construcción de su estructura.
Ubicación de estaciones	Trabajar en conjunto con otras instituciones para obtener nuevas ubicaciones para instalación de equipos.
Bodega e inventario	Tener un espacio físico que sea especial para equipos y repuestos electrónicos, ya que muchos de estos son afectados por humedad y corrosión.
Requerimientos	Seguir los requerimientos y procesos que lleva la adquisición de nuevas estaciones meteorológicas.

Fuente: elaboración propia.

### 5.1.2. Mejora en el sistema de radar meteorológico

El radar es una herramienta que puede ayudar en los pronósticos y su funcionamiento debe estar las 24 horas. Además, que este sistema se encuentra ubicado a 2 500 metros sobre el nivel del mar, esto es un punto a observar porque la temperatura es baja y tiene alta humedad en esta zona, lo cual hace que los mantenimientos tengan una cierta dificultad al momento de realizarlos. Por eso requiere reforzar los procedimientos con las recomendaciones necesarias.

Tabla VIII. **Recomendaciones para sistema de radar**

RADAR	Desarrollo de actividad
<b>Uso de manual de mantenimiento</b>	Realizar un <i>checklist</i> de los mantenimientos descritos en los manuales al llevar a cabo las visitas técnicas.
<b>Distribución de mantenimientos</b>	Crear un calendario específico donde se coloque los mantenimientos y servicios a realizar para realizar las compras de insumos necesarios y repuestos a utilizar.
<b>Inventario de repuestos e insumos</b>	El radar meteorológico por ser un sistema complejo necesita que se tenga disponible un amplio <i>stock</i> de repuestos. La planificación anticipada de compras es necesaria para su desarrollo.
<b>Mantenimientos y servicios</b>	Planificar en el presupuesto anual los mantenimientos y servicios de planta eléctrica y aires acondicionados.
<b>Entrega de datos</b>	Los datos se envían a través de un enlace de microonda desde las nubes hacia Cerro Alux y del Cerro Alux hacia zona 13. Para evitar percances se trabajará en tener un segundo enlace para evitar perder la continuación de los datos.
<b>Compra de repuestos</b>	Se estará trabajando con personal administrativo de compras para realizar pedidos de los repuestos con anticipación ya que estos por ser de una empresa extranjera contiene otros procesos de compra.
<b>Uso de datos</b>	El radar meteorológico cuenta con una función de calibración por medio de estaciones meteorológicas automáticas, esto como parte de mejorar su exactitud sobre las imágenes presentadas.

Fuente: elaboración propia.

De la misma manera se debe realizar un análisis de los procedimientos para el control de fallas en todos los sistemas con los que se cuentan. Tener en consideración el área de compras para mantener un *stock* de repuestos necesarios.

Tabla IX. **Control de fallas y procedimientos**

<b>Reporte de fallas</b>	<p><b>El reporte se debe dar por personal de pronósticos, u operadores que utilicen los datos.</b></p> <p><b>Se tendrá como proyecto una aplicación que envíe reporte de fallas de manera automática por correo o mensaje.</b></p>
<b>Coordinación de técnicos</b>	Dependiendo la falla que se presente se estará coordinando con el personal indicado para acudir a dicho equipo.
<b>Repuestos e insumos para reparación</b>	Se debe tener una bodega virtual donde se pueda consultar los repuestos en <i>stock</i> y los insumos (limpia contactos, espuma, entre otros), así mismo poder solicitarlo directo a la bodega.
<b>Completar reporte en línea</b>	Para facilidad y eficacia de información, se estará implementando un reporte en página web en la cual podrá acceso el técnico desde cualquier dispositivo y completar la información. Esto se hace para no omitir detalles de lo realizado en campo.
<b>Actualizar bitácora de equipo</b>	Se actualizará semanalmente las bitácoras de los equipos para tomar en cuenta mantenimientos y prioridades.
<b>Monitoreo sobre equipo reportado</b>	Después de la reparación u mantenimiento, se mantendrá en observación el equipo para velar su correcto funcionamiento en las siguientes semanas.

Fuente: elaboración propia.

## **5.2. Optimización de la red EMA**

En base al análisis y estudio realizado sobre las EMAs, se conoce que la mejor opción para las estaciones automáticas es del tipo modular. Esto quiere decir que todos los componentes van separados lo cual facilita el remplazo sin afectar el funcionamiento de los otros equipos.

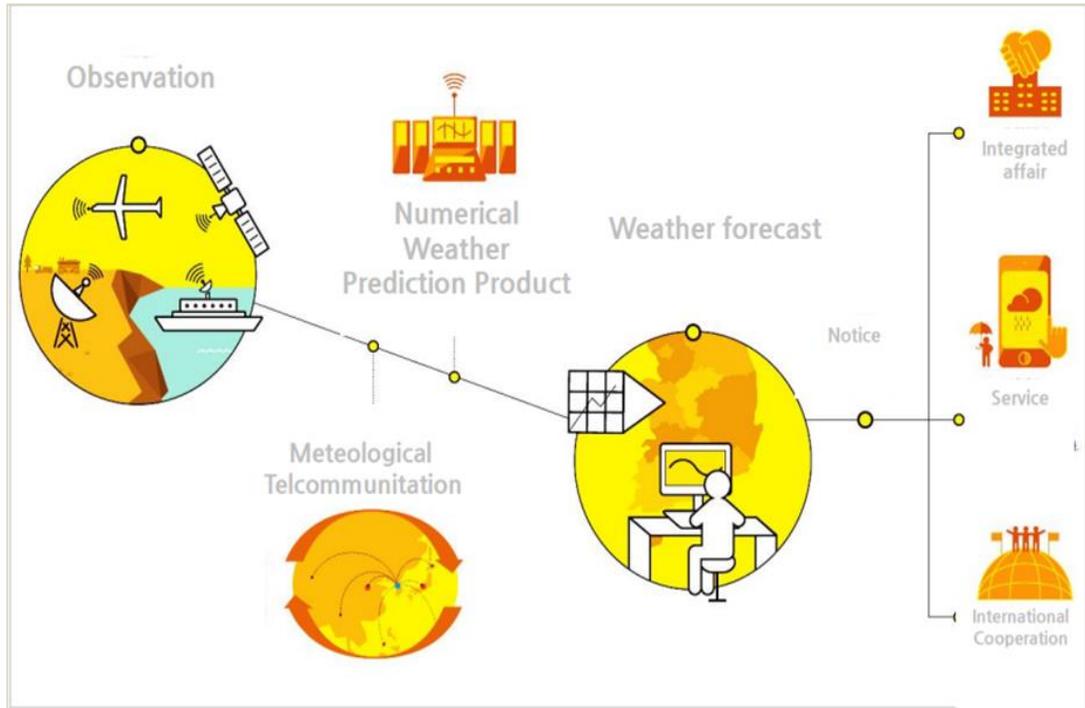
De esta manera se puede detectar con más facilidad las fallas en el sistema y poder atender lo antes posible.

Esto sería parte de contar con un sistema de monitoreo, que se encargue de velar por el funcionamiento de los sistemas con los que cuenta la institución. Como parte importante de un sistema de monitoreo se debe establecer todos los procesos a realizar.

Los procesos van desde los métodos de observación, en este caso se cuenta con sistemas de EMA, Radar e imágenes satelitales, con esta información se debe procesar e interpretar para que los pronosticadores puedan realizar los informes sobre los eventos que se presentan.

Esta información debe ser compartida por medio de la página web, la aplicación, y hacia otras instituciones que la usan para toma de decisiones, como el aeropuerto y CONRED.

Figura 42. **Red de sistemas de monitoreo**



Fuente: Korea Meteorological Administration. *Sistema estación meteorologica.pdf*. p. 55.

### 5.3. Estudio para red basada en IoT

Los procesos de adquisición de datos son cada vez más sencillos, esto busca disminuir las fallas en los sistemas, tomando en cuenta que la tecnología es cada vez más accesible tanto en precios como en disponibilidad. Tomando en cuenta que la facilidad de los servicios de código abierto permite modificar la programación de los equipos, y se puede adaptar según sea la necesidad. Entre los protocolos de comunicación existe el nuevo auge de internet de las cosas. Esto permite que los dispositivos puedan conectarse con mayor facilidad entre sí.

### **5.3.1. Tecnologías de IoT**

En informática y telecomunicación, un protocolo de comunicaciones es un sistema de reglas que permiten que dos o más entidades de un sistema de comunicación se comuniquen entre ellas para transmitir información por medio de cualquier tipo de variación de una magnitud física. Se trata de las reglas o el estándar que define la sintaxis, semántica y sincronización de la comunicación, y los posibles métodos de recuperación de errores. Los protocolos pueden ser implementados por hardware, por software, o por una combinación de ambos.

Los sistemas de comunicación utilizan formatos bien definidos (protocolo), para intercambiar mensajes. Cada mensaje tiene un significado exacto destinado a obtener una respuesta de un rango de posibles respuestas predeterminadas para esa situación en particular. Normalmente, el comportamiento especificado es independiente de cómo se va a implementar. Los protocolos de comunicación tienen que estar acordados por las partes involucradas.

### **5.3.2. MQTT**

El protocolo de red MQ Telemetry Transport (MQTT), sería una buena opción para monitorizar y controlar una EMA. MQTT es un protocolo de publicación/suscripción con corredores de mensajes centrales. Cada EMA puede contener un nodo IoT que publique mensajes de los sensores.

MQTT de un vistazo

- Ancho de banda muy bajo
- TCP/IP
- Publicar/suscribir transferencia de mensajes

- Topología de muchos a muchos a través de un broker central
- Sin metadatos
- Tres niveles de QoS

La calidad de servicio de entrega de datos se puede estar en tres clases:

- QoS 0 unacknowledged (at most one): El mensaje se envía una única vez, en caso de fallo, y puede que alguno no se entregue.
- QoS 1 acknowledged (at least one): El mensaje se envía hasta que se garantiza la entrega.
- QoS 2 assured (exactly one): Última Voluntad y Testamento revela nodos desconectados.

### **5.3.3. Hardware**

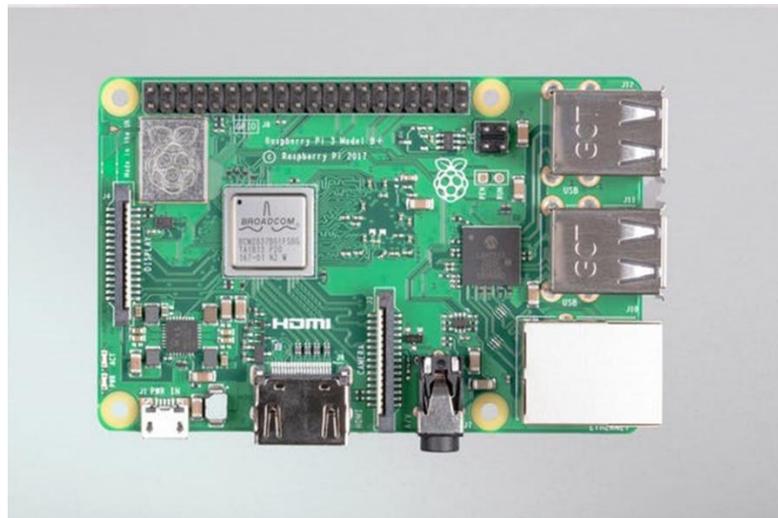
Raspberry Pi 3 Model B. La raspberry es una computadora del tamaño de una tarjeta de crédito, diseñada para enseñar a programar a las personas, mejorando así el entendimiento del uso de código para realizar tareas específicas. Corre en Linux un sistema operativo gratuito, alimentada por un cable de USB con entrada de 5V. Cuenta con puertos USB que pueden ser usados para conectar mouse y teclado, y un puerto HDMI para conectar un monitor. Transformando así en una computadora

En la demostración se utiliza la raspberry Pi 3 Model B+ con las siguientes características:

- Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53 (ARMv8) 64-bit SoC @ 1.4GHz
- 1GB LPDDR2 SDRAM
- 2.4GHz and 5GHz IEEE 802.11.b/g/n/ac wireless LAN, Bluetooth 4.2, BLE

- Gigabit Ethernet over USB 2.0 (maximum throughput 300 Mbps)
- Extended 40-pin GPIO header
- Full-size HDMI
- USB 2.0 ports
- CSI camera port for connecting a Raspberry Pi camera
- DSI display port for connecting a Raspberry Pi touchscreen display
- 4-pole stereo output and composite video port
- Micro SD port for loading your operating system and storing data
- 5V/2.5A DC power input
- Power-over-Ethernet (PoE) support (requires separate PoE HAT)

Figura 43. **Raspberry Pi3 Model B+**

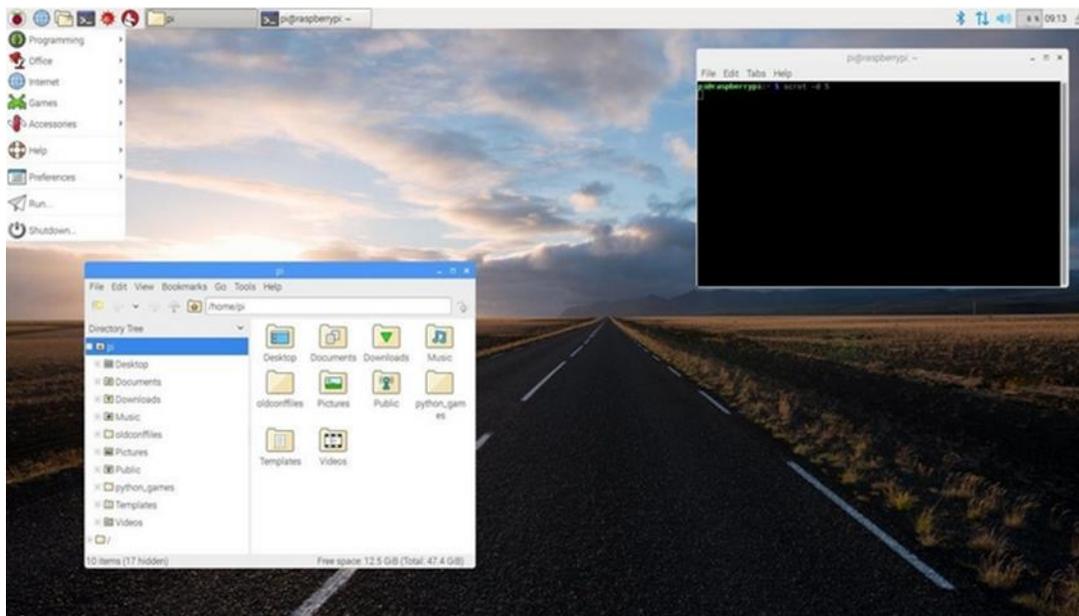


Fuente: Raspberry. *Raspberry pi3 model B+*. <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-3-model-b-plus/>. Consulta: 10 de octubre de 2021.

El sistema operativo que puede utilizar la raspberry se denomina Raspbian, que sería una variación de los sistemas de Linux, esto está basado de

esta manera para poder trabajar con los puertos que tiene la tarjeta raspberry. Se puede observar una captura de pantalla de lo que sería este sistema presentado en una pantalla conectada por medio HDMI.

Figura 44. **Imagen de escritorio de Raspbian**

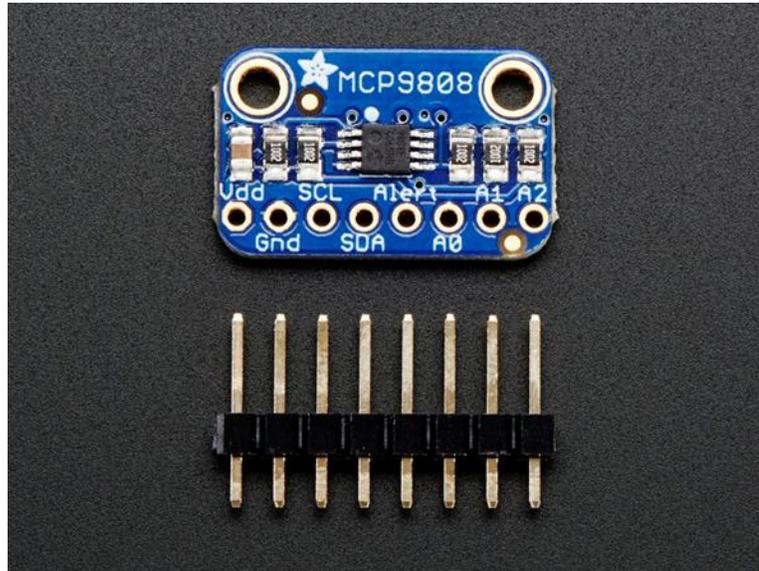


Fuente: elaboración propia, empleando captura de pantalla.

El sensor MCP9808 con conexión I2C, es de los sensores de temperatura digitales más precisos en la actualidad. Con una exactitud de  $\pm 0,25$  °C el rango de -40 °C to +125 °C.

Puede trabajar con cualquier microprocesador que cuente con puerto I2C. Al mismo tiempo su voltaje de operación es de 2,7 V a 5,5.

Figura 45. **Sensor MCP9808**



Fuente: TETTSa. *Sensor Adafruit mcp9808*. <https://tienda.tettsa.gt/producto/mcp9808-high-accuracy-i2c-temperature-sensor-breakout-board-adafruit/>. Consulta: 12 de octubre de 2021.

Algunos aspectos del sensor:

- Simple I2C control
- Hasta 8 en un único canal I2C bus con direcciones I<sub>p</sub> ajustables.
- 0,25 °C precisión hasta -40 °C a 125 °C rango
- 0,0625 °C resolución
- 2,7V to 5.5V Voltaje de operación
- Corriente de operación: 200  $\mu$ A

#### 5.3.4. Software

El software que se utiliza para los procesamientos de datos varían según las necesidades, se utiliza lenguajes que puedan ser interpretados con facilidad y programas gratuitos o de código abierto.

- Python

Python es un lenguaje de programación orientado a objetos, y hace que su legibilidad sea más sencilla. Las ventajas de este lenguaje van entre su interpretación, es dinámico y multiplataforma, lo que hace versátil para infinidad de proyectos. Clasificándose entre los lenguajes de programación más populares y con una línea de aprendizaje muy viable. En el desarrollo del proyecto para demostración se utiliza este lenguaje con su respectivo IDE para programarlo, junto con las librerías para la instalación del protocolo de comunicación MQTT.

- IDE

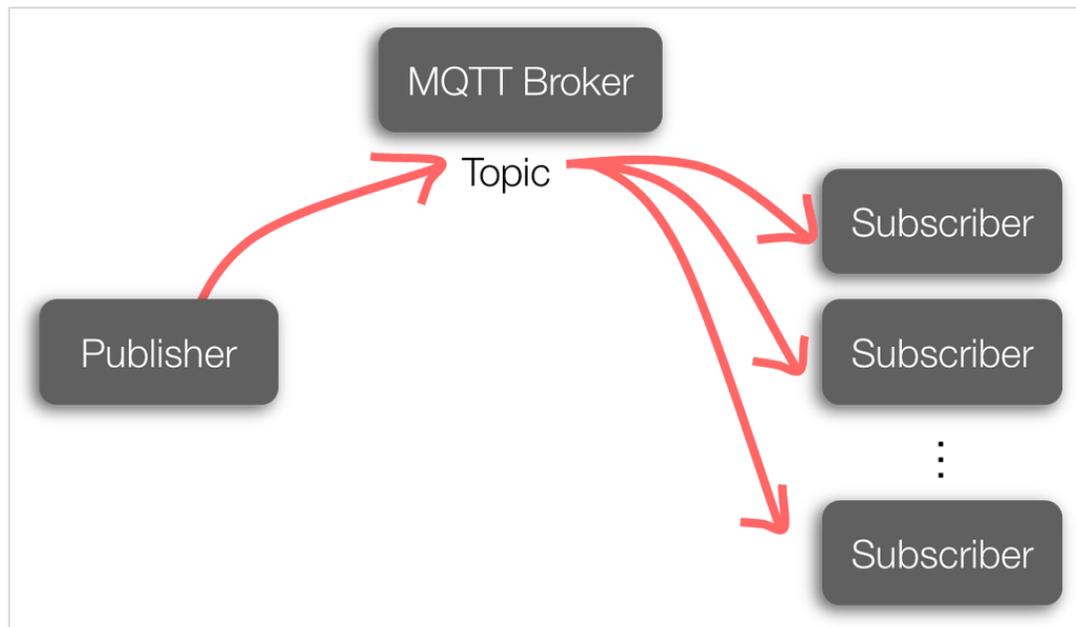
Se utiliza Visual Studio Code, este es un editor de texto desarrollado por Microsoft para Windows, Linux y macOS. Compatible con variedad de lenguajes permite la instalación y programación de estos, cuenta con opciones de uso de terminal o Power Shell, estos pueden ser útiles para aplicaciones en Python.

- Broker

Una de las claves principales para la comunicación de MQTT es el broker, un programa que se encarga de recibir los mensajes enviados por el cliente y su distribución, utilizando el método de pub-sub.

En la aplicación se utiliza el Broker llamado Mosquitto, es el más conocido y con una amplia gama de información. Es un broker open source y fue desarrollado por Eclipse, se selecciona este bróker por ser liviano y su adaptación es muy útil en servidores de baja potencia, tales como las raspberry que no requieren un alto consumo para él envío de datos.

Figura 46. **Diagrama de comunicación del broker**



Fuente: Instructurables. *MQTT mosquitto*. <https://www.instructables.com/Installing-MQTT-BrokerMosquitto-on-Raspberry-Pi/>. Consulta: 12 de octubre de 2021.

Para instalar el bróker mosquitto se debe tener presente:

- Dar un update a la lista de paquetes con el comando apt update
  - \$ sudo apt update
- Luego instalar mosquitto utilizando apt install

- `$ sudo apt install mosquitto mosquitto-clients`
- Por defecto, Debian iniciará el servicio de mosquitto después de instalar. Se realiza una prueba de configuración. Utilizando uno de los clientes de mosquitto para suscribir un tema en el broker.
- Los Topics o tema son etiquetas sobre las que se puede publicar o suscribir. Por ejemplo, se puede colocar (sensor/estacion1/temp), y (sensor/estación1/humedad). Según sea lo el uso que se le dé o a quien se le quiere mostrar el mensaje.

Realizando la prueba:

```
$ mosquitto_sub -h localhost -t test
```

El comando -h es usado para especificar el nombre del servidor MQTT y -t el nombre del Topic o tema. No se verá ningún mensaje debido a que no hay ninguna publicación a la que se le pueda solicitar los mensajes.

Para realizar esto, se puede abrir otra ventana de terminal y escribir el código:

```
$ mosquitto_pub -h localhost -t test -m "Hola mundo"
```

Las opciones en la línea de código son las mismas que en la suscripción únicamente se agrega el comando -m que especifica el mensaje. Al momento de dar enter al comando se presentará un "Hola mundo" en la ventana de suscripción.

De este modo ya se tiene la base de la comunicación, en la capa de aplicación, y da la facilidad de conectar varios dispositivos porque la ventaja de tener un método de Pub-sub, suscripción y publicación es que el sensor, que envía el dato no necesita ser consultado directamente, lo que hace que el sistema no se congestione al momento que más de un usuario realice consulta al mismo sensor.

Teniendo en cuenta eso se puede entender la facilidad de utilizar este método de programación, por la versatilidad de este se pueden realizar mejoras según sean requeridas en su aplicación.

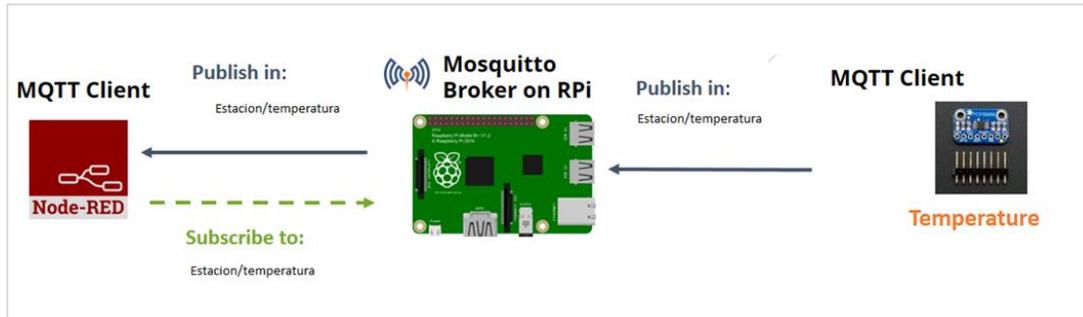
### **5.3.5. Entrega y presentación de datos**

Node-red es una herramienta de visual en la que se puede programar usada en el Hardware de un controlador. Este ayuda a visualizar los procesos que se realizan, y realizar las conexiones mediante un panel que puede ser útil para presentación de datos en tiempo real.

En este caso se utiliza una raspberry pi como controlador, mientras Node-red y el sensor de temperatura serían los clientes. De esta manera se puede conectar con el protocolo MQTT y suscribirse a las publicaciones del sensor.

Este proceso es muy útil debido a que no consume demasiados recursos y la programación con el protocolo MQTT permite presentar estos datos de manera muy sencilla, con la finalidad de utilizar Node-red como una manera visual de llevar control sobre la estación. Al mismo tiempo se guardan los datos en un archivo CSV, que ayuda a mantener un histórico de los registros.

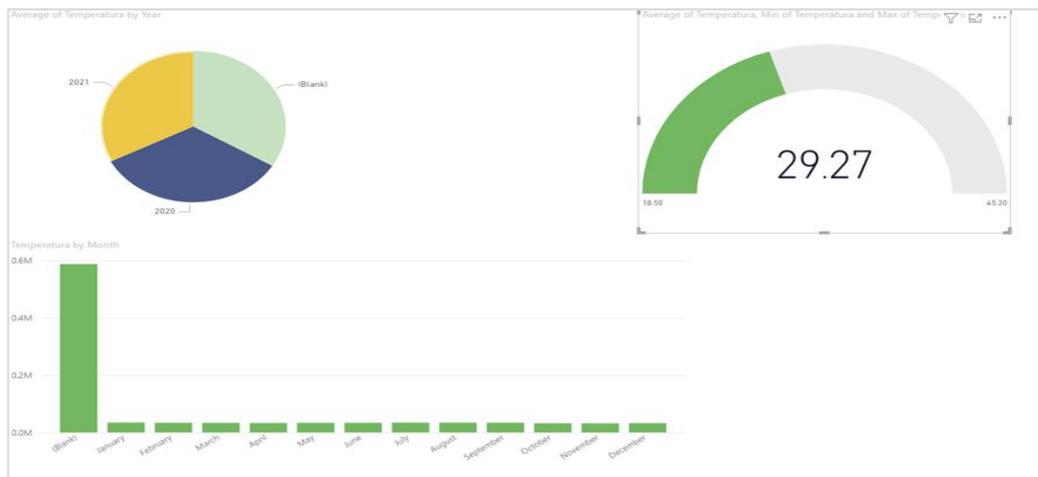
Figura 47. **Node-RED a sensor de temperatura**



Fuente: elaboración propia, empleando editor de imagen.

En Power Bi se realiza la presentación de los datos históricos con el fin de crear un informe del funcionamiento de este sensor. Esta herramienta es útil porque acepta diferentes tipos de archivo para crear tablas y gráficas dinámicas que se pueden editar y presentar de manera más eficiente para la comprensión del usuario final.

Figura 48. **Presentación de datos en Power Bi**



Fuente: elaboración propia, empleando Power Bi.

## 5.4. Nuevas tecnologías para adquisición de datos

La visión de la institución es dotar de instrumentos tecnológicos capaces de adquirir datos meteorológicos para tener mayor cobertura en el territorio nacional, de acuerdo con ejemplos de otras instituciones internacionales.

### 5.4.1. Dron

El dron es un sistema de vuelo no tripulado, y puede ser controlado tanto remotamente como por medio de programación de ubicaciones. Es una tecnología relativamente nueva y ha sido utilizada en su mayoría para la toma de fotografías, sin embargo, varias instituciones han puesto en marcha la aplicación en meteorología sobre todo con los sensores de temperatura y humedad.

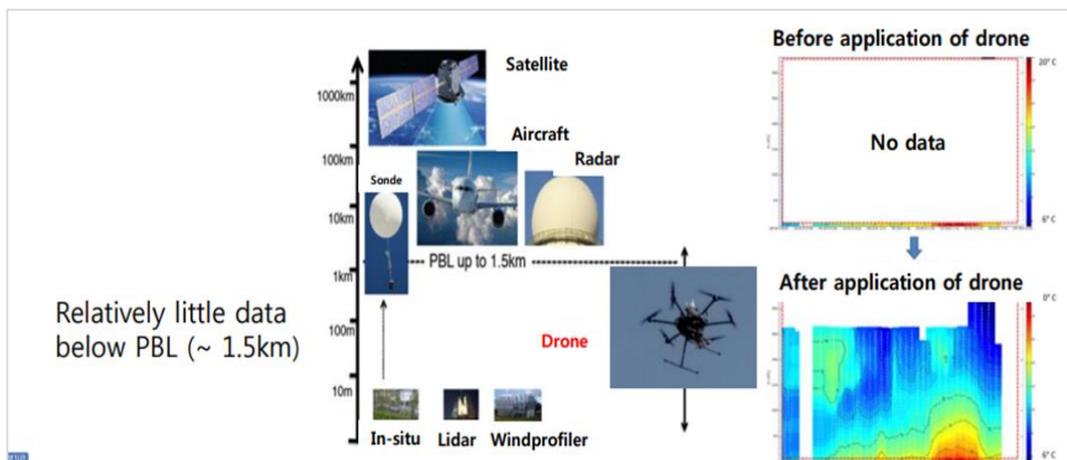
Figura 49. **Dron para meteorología**



Fuente: KMA, Korea Meteorological Administration. *Sistemas meteorológicos. pdf.* p. 59.

Se han utilizado para cubrir áreas de observación en las que los sistemas actuales no han llegado, por lo tanto, son una opción muy viable al momento de adquisición de datos tiempo definido, y la mayoría de estos equipos cuenta con una capacidad de batería limitada.

Figura 50. **Adquisición de datos por dron**



Fuente: KMA, Korea Meteorological Administration. *Sistemas meteorológicos.pdf*. p. 61.

### 5.4.2. Vehículo meteorológico

En la Administración Meteorológica de Corea presentaron vehículos utilizados para obtener datos de manera móvil llamados MOVE. Estos vehículos cuentan con una estación meteorológica en su techo, la cual es utilizada para movilizar en casos donde se requiera un dato y no se encuentre alguna estación meteorológica. Este tipo de estaciones es de mucha ayuda al momento de captar los datos de una tormenta y al ser móvil se tiene la ventaja de poder ubicar la estación donde más se necesite.

Figura 51. Vehículo de observación meteorológica

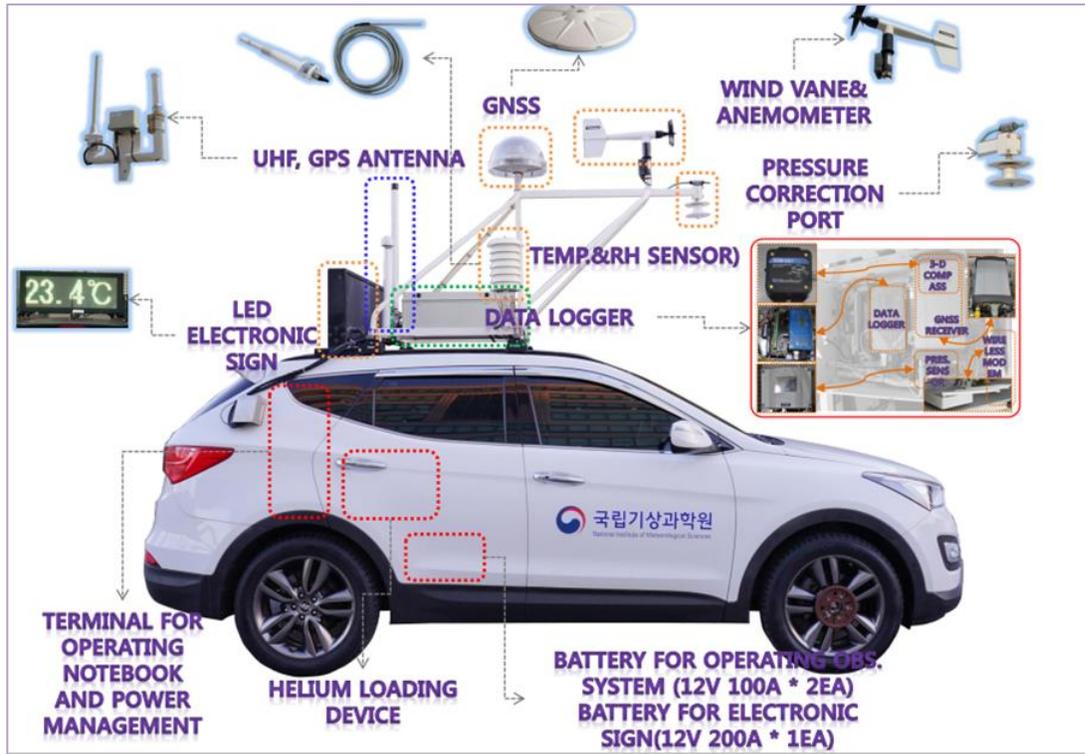


Fuente: Korea Meteorological Administration. *Sistemas meteorológicos.pdf*. p. 70.

El vehículo MOVE cuenta con varios sistemas de meteorología que puede utilizar para hacer mediciones estacionarias o en movimiento.

La ventaja de estos vehículos es la versatilidad de poder obtener los datos en los lugares más remotos o en caso de que alguna estación este sin comunicar puede ser reemplazada sin ningún inconveniente.

Figura 52. **Sistemas dentro de MOVE**



Fuente: KMA, Korea Meteorological Administration. *Sistemas meteorologicos.pdf*. p. 71.

## CONCLUSIONES

1. De acuerdo con el análisis realizado de las estaciones con las que cuenta la institución se puede observar que la falta de estandarización provoca que el deterioro y falta de mantenimientos se presenten con mayor regularidad las fallas en el sistema de red de estaciones automáticas.
2. Se crea un manual en el que se presenta la forma adecuada de adquisición y requerimientos básicos de las estaciones. Se detallan los principales inconvenientes en las estaciones actuales y se propone la adquisición de estaciones tipo modular.
3. Considerando el estudio presentado se puede observar que el impacto de contar con una red de estaciones en óptima condición sea útil para diferentes aplicaciones dentro de la institución, y en otros sectores que utilizan este tipo de datos.
4. Con la investigación se puede encontrar una opción de uso de tecnología IoT con protocolo MQTT, que por su viabilidad mejora la adquisición de datos con estaciones que pueden ser creadas dentro de la misma institución disminuyendo los costos en compra de equipos y repuestos.
5. Con la información adquirida sobre los dispositivos con sus respectivas especificaciones y estándares de instalación y mantenimientos, se entrega plan de estandarización para adquisición de estaciones el cual detalla los aspectos técnicos que se deben considerar a futuro.



## RECOMENDACIONES

1. Realizar una constante observación sobre los equipos, creando un plan de operación y mantenimientos de los sistemas con los que cuenta la institución.
2. Estandarizar los equipos y llevar control sobre los requisitos para futuras compras de estaciones con sus respectivos repuestos y equipos de mantenimiento.
3. Considerar las tecnologías de código abierto que se puedan desarrollar dentro de la institución y poder adaptar el software a los requisitos mínimos que sean necesarios para los estudios que realiza el área de meteorología.
4. Adaptar el cambio de tecnología a IoT, la cual es la más viable para la adquisición de datos, y que pueda ser aprovechada por la institución.
5. Tomar de guía el manual presentado para un mejor control y mantenimiento de los equipos, así como base un estándar para la adquisición de nuevos equipos.



## BIBLIOGRAFÍA

1. Adafruit. *Anemómetro*. [en línea]. <<https://www.adafruit.com/product/1733/>>. [Consulta: 5 de octubre de 2021].
2. Campbell. *Sensor de humedad HMO-45D*. [en línea]. <<https://www.campbellsci.es/cs215-l>>. [Consulta: 12 de octubre de 2021].
3. Física Lab. *Temperatura*. [en línea]. <[https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=10616](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10616)>. [Consulta: 16 de octubre de 2021].
4. Geonica, S.A. *Manual GPRS estación geonica*. [en línea]. <[http://www.utm.csic.es/SensorWeb/documentation/maual\\_geonica\\_meteo.pdf](http://www.utm.csic.es/SensorWeb/documentation/maual_geonica_meteo.pdf)>. [Consulta: 5 de junio de 2021]
5. HMO-45D. *Campbellsci*. [en línea]. <<https://www.campbellsci.es/cs215-l>>. [Consulta: 12 de octubre de 2021].
6. i2. WP. *Especificaciones conductor de platino*. [en línea]. <<https://www.campbellsci.com/hmp45c-l.png>>. [Consulta: 2 de septiembre de 2021].

7. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala. *Mapa de estaciones automáticas*. [en línea]. <<http://insivumeh.com.gt>>. [Consulta: 12 de junio de 2021].
8. \_\_\_\_\_. *Visión y misión*. [en línea]. <<https://insivumeh.gob.gt/institucional/quienes-somos/>>. [Consulta: 02 de septiembre de 2021].
9. Instructurables. *MQTT mosquito*. [en línea]. <<https://www.instructables.com/Installing-MQTT-BrokerMosquitto-on-Raspberry-Pi/>>. [Consulta: 12 de marzo de 2021].
10. IXCAMPARIJ, Joel. *Procesamiento de imágenes*. [en línea]. <<https://insivumeh.gob.gt/meteorologia/imagenes-satelitales/goes-16/guatemala/>>. [Consulta: 10 de septiembre de 2021].
11. \_\_\_\_\_. *Radar rango largo*. [en línea]. <<https://insivumeh.gob.gt/meteorologia/radar/radar-meteorologico/rango-largo-465km/>>. [Consulta: 20 de octubre de 2021].
12. \_\_\_\_\_. *Sensores remotos y monitoreo atmosférico*. [en línea]. <[http://www.insivumeh.gob.gt/img/FUEGO/fuego\\_preview/main.pdf](http://www.insivumeh.gob.gt/img/FUEGO/fuego_preview/main.pdf)>. [Consulta: 20 de octubre de 2021].
13. Korea Meteorological Administration. *Sistemas meteorológicos*. [en línea]. <<https://www.kma.go.kr/eng/weather/images/analysischart.jsp>>. [Consulta: 10 de agosto de 2021].

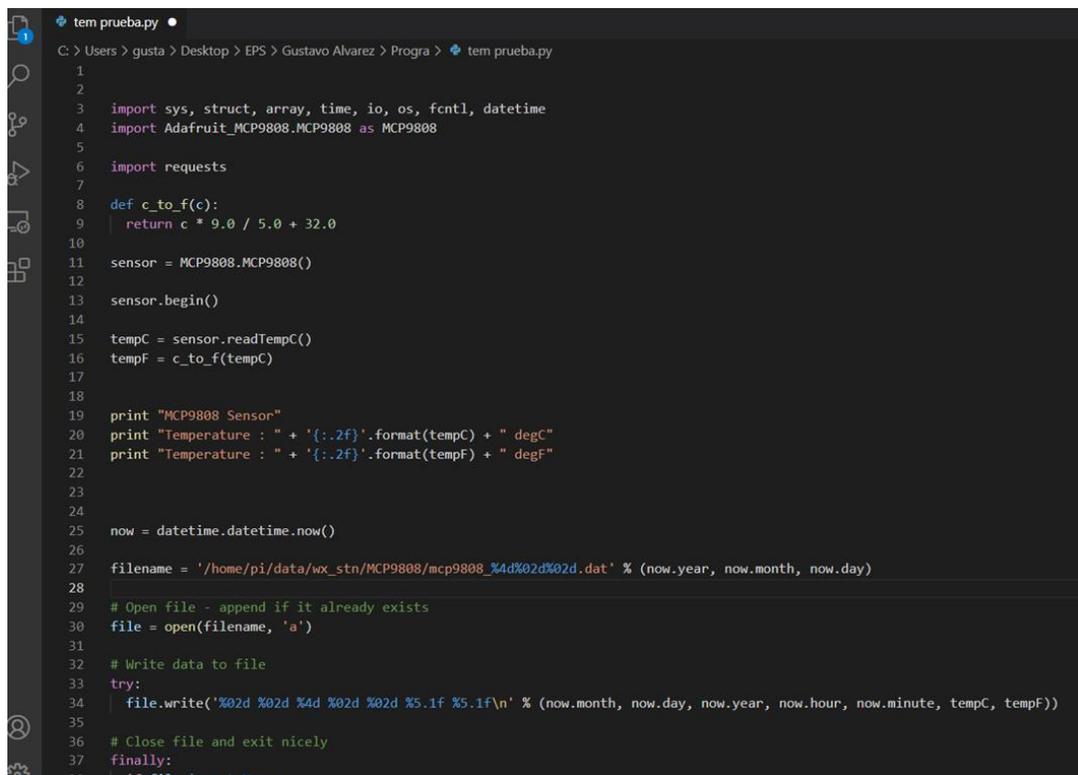
14. Meteoclim. *Sistemas de medición meteorológica automática*. [en línea]. <<https://blog.meteoclim.com/sistemas-de-observacion-meteorologica>>. [Consulta: 11 de octubre de 2021].
15. NASA/NOAA. *GOES-R series spacecraft overview*. [en línea]. <<http://www.goes-r.gov/spacesegment/spacecraft.html> (image link), archived source website>. [Consulta: 15 de junio de 2021].
16. NODE RED. *Hacksterio*. [en línea]. <<https://www.hackster.io/harishah/node-red-mqtt-with-google-sheets-ab1aa>>. [Consulta: 12 de marzo de 2021].
17. Radar tutorial. *Ondas y rangos de frecuencia*. [en línea]. <<https://www.radartutorial.eu/07.waves/Ondas%20y%20Rangos%20de%20Frecuencia.es.html>>. [Consulta: 15 de junio de 2021].
18. Raspberry. *Raspberry pi3 model B+*. [en línea]. <<https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-3-model-b-plus/>>. [Consulta: 10 de octubre de 2021].
19. Sensovant. *Rosa de viento*. [en línea]. <<https://www.sensovant.com/productos-aplicaciones/agricultura/viento/sensores-ultrasonicos-2d/articulo/sensor-eolico-ultrasonico-windsonic-m.html>>. [Consulta: 12 de septiembre de 2021].
20. Shoptronica. *Interruptor magnético*. [en línea]. <<https://www.shoptronica.com/curiosidades-tutoriales-y-gadgets/3981-que-son-los-interruptor-magnetico-reed-switch-0689593949974.html>>. [Consulta: 12 de octubre de 2021].

21. TETTSA. *Sensor Adafruit mcp9808*. [en línea]. <<https://tienda.tettsa.gt/producto/mcp9808-high-accuracy-i2c-temperature-sensor-breakout-board-adafruit/>>. [Consulta: 12 de octubre de 2021].
22. TH Bing. *Piranómetro*. [en línea]. <<https://th.bing.com/th/id/R.20744103ce0abece8423ab362559b850?rik=CBYL%2bRhEf46NXg&pid=ImgRaw&r=0>>. [Consulta: 15 de octubre de 2021].
23. Universidad de Salamanca. *Diagrama pluviómetro*. [en línea]. <<https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/3361/CuervoQuevedoMariaCamila2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. [Consulta: 12 de octubre de 2021].
24. Vaisala. *Barómetro*. [en línea]. <<https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/PTB330%20User%27s%20Guide%20in%20Spanish.pdf>>. [Consulta: 03 de octubre de 2021].

## APÉNDICES

A continuación, se muestra el código que se utiliza para desarrollar la adquisición de datos para el sensor de temperatura.

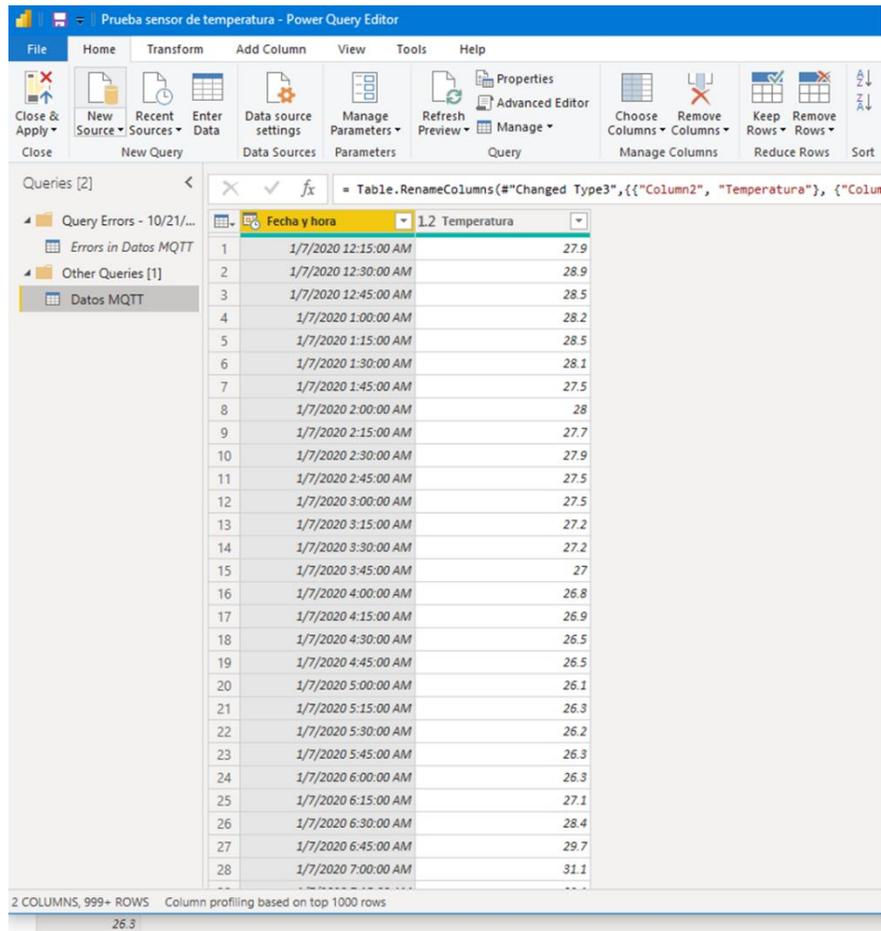
### Apéndice 1. Programa tem prueba.py para adquisición de datos de sensor



```
1
2
3 import sys, struct, array, time, io, os, fcntl, datetime
4 import Adafruit_MCP9808.MCP9808 as MCP9808
5
6 import requests
7
8 def c_to_f(c):
9     return c * 9.0 / 5.0 + 32.0
10
11 sensor = MCP9808.MCP9808()
12
13 sensor.begin()
14
15 tempC = sensor.readTempC()
16 tempF = c_to_f(tempC)
17
18
19 print "MCP9808 Sensor"
20 print "Temperature : " + '{:.2f}'.format(tempC) + " degC"
21 print "Temperature : " + '{:.2f}'.format(tempF) + " degF"
22
23
24
25 now = datetime.datetime.now()
26
27 filename = '/home/pi/data/wx_stn/MCP9808/mcp9808_%d%02d%02d.dat' % (now.year, now.month, now.day)
28
29 # Open file - append if it already exists
30 file = open(filename, 'a')
31
32 # Write data to file
33 try:
34     file.write('%02d %02d %4d %02d %02d %5.1f %5.1f\n' % (now.month, now.day, now.year, now.hour, now.minute, tempC, tempF))
35
36 # Close file and exit nicely
37 finally:
38     if file is not None:
```

Fuente: elaboración propia, empleando captura de pantalla de código en VS code IDE.

## Apéndice 2. Programa, Power Bi, uso de power query para manejo de datos de sensor de temperatura



The screenshot displays the Power Query Editor interface. The ribbon includes tabs for File, Home, Transform, Add Column, View, Tools, and Help. The Home tab is active, showing options like New Source, Recent Sources, Enter Data, Data source settings, Manage Parameters, Refresh Preview, and Manage. The main area shows a table with two columns: 'Fecha y hora' and 'Temperatura'. The table contains 28 rows of data, with the first row being 1/7/2020 12:15:00 AM and 27.9. The status bar at the bottom indicates '2 COLUMNS, 999+ ROWS' and 'Column profiling based on top 1000 rows'.

	Fecha y hora	1.2 Temperatura
1	1/7/2020 12:15:00 AM	27.9
2	1/7/2020 12:30:00 AM	28.9
3	1/7/2020 12:45:00 AM	28.5
4	1/7/2020 1:00:00 AM	28.2
5	1/7/2020 1:15:00 AM	28.5
6	1/7/2020 1:30:00 AM	28.1
7	1/7/2020 1:45:00 AM	27.5
8	1/7/2020 2:00:00 AM	28
9	1/7/2020 2:15:00 AM	27.7
10	1/7/2020 2:30:00 AM	27.9
11	1/7/2020 2:45:00 AM	27.5
12	1/7/2020 3:00:00 AM	27.5
13	1/7/2020 3:15:00 AM	27.2
14	1/7/2020 3:30:00 AM	27.2
15	1/7/2020 3:45:00 AM	27
16	1/7/2020 4:00:00 AM	26.8
17	1/7/2020 4:15:00 AM	26.9
18	1/7/2020 4:30:00 AM	26.5
19	1/7/2020 4:45:00 AM	26.5
20	1/7/2020 5:00:00 AM	26.1
21	1/7/2020 5:15:00 AM	26.3
22	1/7/2020 5:30:00 AM	26.2
23	1/7/2020 5:45:00 AM	26.3
24	1/7/2020 6:00:00 AM	26.3
25	1/7/2020 6:15:00 AM	27.1
26	1/7/2020 6:30:00 AM	28.4
27	1/7/2020 6:45:00 AM	29.7
28	1/7/2020 7:00:00 AM	31.1

Fuente: elaboración propia, empleando *Power Bi*.