



**FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA E INFORMÁTICA**

DESARROLLO Y VALIDACIÓN DE PROTOTIPO DE ESTACIÓN  
METEOROLÓGICA DE BAJO COSTO PARA EL REGISTRO DE MEDICIONES  
METEOROLÓGICAS EN ZONAS DE ALTA MONTAÑA

**Línea de investigación:**

**Sistemas eléctricos y electrónicos**

Tesis para optar el título de Ingeniero en Mecatrónica

**Autor:**

Lujan Leon, Jean Pol Juniors

**Asesor:**

Rodríguez Figueroa, José Julio  
(ORCID: 0000-0002-3672-1526)

**Jurado:**

Flores Masias, Edward José

Peña Carrillo, Cesar Serapio

Borjas Castañeda Julio César

Rosales Fernández , José Hilarión

**Lima - Perú**

**2021**



**Referencia:**

Lujan, J. (2021). *Desarrollo y validación de prototipo de estación meteorológica de bajo costo para el registro de mediciones meteorológicas en zonas de alta montaña*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Federico Villarreal]. Repositorio Institucional UNFV. <http://repositorio.unfv.edu.pe/handle/UNFV/5933>



**Reconocimiento - No comercial - Sin obra derivada (CC BY-NC-ND)**

El autor sólo permite que se pueda descargar esta obra y compartirla con otras personas, siempre que se reconozca su autoría, pero no se puede generar obras derivadas ni se puede utilizar comercialmente.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>



Universidad Nacional  
**Federico Villarreal**

**VRIN** | VICERRECTORADO  
DE INVESTIGACIÓN

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA E INFORMÁTICA**

**DESARROLLO Y VALIDACIÓN DE PROTOTIPO DE ESTACIÓN  
METEOROLÓGICA DE BAJO COSTO PARA EL REGISTRO DE  
MEDICIONES METEOROLÓGICAS EN ZONAS DE ALTA MONTAÑA**

Línea de investigación:

Sistemas eléctricos y electrónicos

Tesis para optar el título de Ingeniero en Mecatrónica

**Autor:**

Lujan Leon, Jean Pol Juniors

**Asesor:**

Rodríguez Figueroa, José Julio  
(ORCID: 0000-0002-3672-1526)

**Jurado:**

Flores Masias, Edward José  
Peña Carrillo, Cesar Serapio  
Borjas Castañeda Julio César  
Rosales Fernández , José Hilarión

**Lima – Perú**

**2021**

### **Dedicatoria**

A mi familia por haber estado siempre a mi lado siendo siempre un soporte económico, pero sobre todo emocional y en especial a mi Madre Lucy quien ha sido el motor de vida personal y profesional.

A ellos va dedicado este estudio haciéndoles saber que todos mis logros les pertenecen más que a mí.

## **Agradecimientos**

A mi familia, por su confianza en mí, su generosidad y su apoyo.

A la Universidad Nacional Federico Villareal, por haberme brindado tantas oportunidades y enriquecerme en conocimiento.

Al Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM) por promover y fomentar la investigación en el país, dando soporte científico, logístico y humano, a los nuevos y futuros científicos del país además de permitirme conocer y trabajar con investigadores nacionales e internacionales.

A mi co-asesor Cesar Verde, por su disposición para absolver mis dudas, apoyo constante también a Katy Medina (investigadora principal del proyecto) por la confianza en mí y mis compañeros y amigos de la institución por brindarme su apoyo académico además de su sincera amistad.

Este trabajo fue financiado por el CONCYTEC-FONDECYT en el marco de la convocatoria E041-01 [número de contrato N°23-2018-FONDECYT-BM-IADT-MU]. Subproyecto “Evaluación y estimación de la distribución espacio temporal de permafrost a nivel nacional como potencial de reserva hídrica - PERMAFROST”.

## INDICE

<b>INDICE .....</b>	<b>4</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>6</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>7</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>11</b>
1.1. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	11
1.2. ANTECEDENTES .....	13
1.3. OBJETIVOS .....	15
1.3.1. <i>Objetivo general</i> .....	15
1.3.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	15
1.4. JUSTIFICACIÓN .....	15
1.5. HIPÓTESIS .....	16
<b>II. MARCO TEORICO .....</b>	<b>19</b>
2.1. BASES TEÓRICAS SOBRE EL TEMA DE INVESTIGACIÓN .....	19
2.1.1. <i>Ciencias Atmosféricas</i> .....	19
2.1.2. <i>Estación meteorológica</i> .....	19
2.1.3. <i>Observaciones meteorológicas</i> .....	23
2.1.4. <i>Variables meteorológicas</i> .....	23
2.1.5. <i>Instrumentos de medición meteorológicos</i> .....	24
2.1.6. <i>Zonas de alta montaña</i> .....	26
2.1.7. <i>Prototipos</i> .....	27
2.1.8. <i>Microcontroladores</i> .....	28
2.1.9. <i>Sensores</i> .....	30
2.1.10. <i>Transmisión y almacenamiento de datos en microcontroladores</i> .....	31
<b>III. MÉTODO .....</b>	<b>32</b>
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	32
3.2. ÁMBITO TEMPORAL Y ESPACIAL .....	32
3.2.1. <i>Temporal</i> .....	32
3.2.2. <i>Espacial</i> .....	32
3.3. VARIABLES .....	34
3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA .....	36
3.4.1. <i>Población</i> .....	36
3.4.2. <i>Muestra</i> .....	36
3.5. INSTRUMENTOS.....	36
3.6. PROCEDIMIENTOS.....	38
3.6.1. <i>Diseño del prototipo</i> .....	38
3.6.2. <i>Ensamblaje del prototipo</i> .....	55
3.6.3. <i>Instalación</i> .....	58
3.6.4. <i>Validación de instrumentos</i> .....	61
3.7. ANÁLISIS DE DATOS .....	67
<b>IV. RESULTADOS .....</b>	<b>69</b>
4.1. COMPORTAMIENTO DEL MICROCONTROLADOR.....	69
4.2. PRUEBA DE NORMALIDAD.....	70
4.2.1. <i>Temperatura ambiental</i> .....	71

4.2.2. Radiación solar.....	72
4.2.3. Presión atmosférica .....	73
4.2.4. Temperatura superficial del suelo.....	74
4.2.5. Velocidad del viento.....	75
4.2.6. Dirección del viento.....	76
4.3. DIFERENCIAS ESTADÍSTICAS.....	77
4.3.1. Presión atmosférica .....	77
4.3.2. Temperatura ambiental .....	79
4.3.3. Humedad relativa .....	80
4.3.4. Radiación solar.....	81
4.3.5. Temperatura superficial del suelo.....	82
4.3.6. Velocidad del viento.....	83
4.3.7. Dirección del viento.....	84
4.4. COSTO BENEFICIO .....	85
<b>V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>88</b>
<b>VI. CONCLUSIONES .....</b>	<b>94</b>
<b>VII. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>97</b>
<b>VIII. REFERENCIAS .....</b>	<b>98</b>
<b>IX. ANEXOS .....</b>	<b>103</b>
9.1 ANEXOS A.....	103
9.2 ANEXOS B.....	108
9.3 ANEXOS C.....	116
9.4 ANEXOS D.....	124
9.5 ANEXOS E .....	127

**ÍNDICE DE TABLAS**

<b>TABLA 1</b> .....	14
<b>TABLA 2</b> .....	22
<b>TABLA 3</b> .....	38
<b>TABLA 4</b> .....	40
<b>TABLA 5</b> .....	41
<b>TABLA 6</b> .....	42
<b>TABLA 7</b> .....	42
<b>TABLA 8</b> .....	43
<b>TABLA 9</b> .....	44
<b>TABLA 10</b> .....	46
<b>TABLA 11</b> .....	48
<b>TABLA 12</b> .....	49
<b>TABLA 13</b> .....	55
<b>TABLA 14</b> .....	57
<b>TABLA 15</b> .....	69
<b>TABLA 16</b> .....	71
<b>TABLA 17</b> .....	72
<b>TABLA 18</b> .....	73
<b>TABLA 19</b> .....	74
<b>TABLA 20</b> .....	75
<b>TABLA 21</b> .....	76
<b>TABLA 22</b> .....	78
<b>TABLA 23</b> .....	79
<b>TABLA 24</b> .....	80
<b>TABLA 25</b> .....	81
<b>TABLA 26</b> .....	82
<b>TABLA 27</b> .....	83
<b>TABLA 28</b> .....	84
<b>TABLA 29</b> .....	86
<b>TABLA 30</b> .....	87
<b>TABLA 31</b> .....	88
<b>TABLA 32</b> .....	89
<b>TABLA 33</b> .....	91

**ÍNDICE DE FIGURAS**

FIGURA 1 .....	20
FIGURA 2 .....	21
FIGURA 3 .....	41
FIGURA 4 .....	42
FIGURA 5 .....	43
FIGURA 6 .....	44
FIGURA 7 .....	45
FIGURA 8 .....	45
FIGURA 9 .....	46
FIGURA 10 .....	47
FIGURA 11 .....	48
FIGURA 12 .....	49
FIGURA 13 .....	50
FIGURA 14 .....	51
FIGURA 15 .....	51
FIGURA 16 .....	52
FIGURA 17 .....	52
FIGURA 18 .....	53
FIGURA 19 .....	54
FIGURA 20 .....	55
FIGURA 21 .....	56
FIGURA 22 .....	58
FIGURA 23 .....	59
FIGURA 24 .....	60
FIGURA 25 .....	61
FIGURA 26 .....	62
FIGURA 27 .....	63
FIGURA 28 .....	63
FIGURA 29 .....	64
FIGURA 30 .....	65
FIGURA 31 .....	65
FIGURA 32 .....	66
FIGURA 33 .....	66
FIGURA 34 .....	67
FIGURA 35 .....	71
FIGURA 36 .....	72
FIGURA 37 .....	73
FIGURA 38 .....	74
FIGURA 39 .....	75
FIGURA 40 .....	76
FIGURA 41 .....	78
FIGURA 42 .....	79
FIGURA 43 .....	80
FIGURA 44 .....	81
FIGURA 45 .....	83
FIGURA 46 .....	84
FIGURA 47 .....	85
FIGURA 48 .....	127
FIGURA 49 .....	128
FIGURA 50 .....	128

<b>FIGURA 51</b> .....	129
<b>FIGURA 52</b> .....	130
<b>FIGURA 53</b> .....	131
<b>FIGURA 54</b> .....	132

## Resumen

La presente investigación parte por la necesidad de contar con estaciones meteorológicas para llevar a cabo diferentes estudios en zonas de alta montaña. Sin embargo, la instalación de estas implica un alto costo; por ello, contar con estaciones de bajo costo e igual precisión permitiría realizar más estudios. Por eso se propone una estación meteorológica basada en OpenSource siendo las ventajas más destacables los bajos costos, la personalización y una mayor apertura a la innovación. En el proceso de diseño se consideró la inclusión de las directivas de la Organización Mundial Meteorológica (OMM), lugar de instalación, selección de materiales, diseño de un circuito impreso y del código para el microcontrolador. Luego se continuo con el ensamblaje, la instalación y la validación de los instrumentos El prototipo se instaló en la Quebrada de Quilcayhuanca - Ancash - Perú, a 3800 m s.n.m, junto a una estación Campbell Scientific de precisión científica, con la finalidad de comparar las medidas de presión atmosférica, temperatura ambiental y del suelo, humedad relativa y radiación solar. Por otro lado, se realizó otra instalación en el glaciar de roca San Felix – Arequipa – Perú para comparar velocidad y dirección de viento con una estación HOBO. Se concluye que, los datos captados en el prototipo son muy similares al de las estaciones comparadas. La diferencia promedio en temperatura es de 0.193 °C, en humedad de 1.3% HR, en presión atmosférica 0.14 mbar, en radiación solar del 5.8%, temperatura del suelo de 0.127 °C y la de velocidad y dirección del viento 0.485 m/s y 1.33° respectivamente. El costo beneficio es de 5 a 18 veces menor. Así mismo, se pone a disposición de la comunidad una herramienta de precisión, económica y personalizable de acuerdo al interés del estudio.

*Palabras clave:* prototipo, estación meteorológica, software y hardware de código abierto, Arduino, alta montaña.

### Abstract

The current research starts with the need to have weather stations to carry out different studies in high mountain areas. However, the installation of the stations implies a high cost; Therefore, having low-cost stations with equal precision would allow more studies to be carried out. This is why a weather station based on OpenSource is proposed, with the most notable advantages being low costs, customization and greater openness to innovation. In the design process the inclusion of the directives of the World Meteorological Organization, place of installation, selection of materials, design of a printed circuit and the code for the microcontroller was considered. Then we continued with the assembly, installation and validation of the instruments. The prototype was installed in the Quilcayhuanca basin - Ancash - Peru, at 3800 m above sea level, next to a Campbell Scientific station of scientific precision, with the purpose to compare the measurements of atmospheric pressure, environment and soil temperature, relative humidity and solar radiation. On the other hand, another installation was performed on the San Félix rock glacier in Arequipa - Peru to compare speed and direction of the wind with a HOBO station. It is concluded that, the data captured in the prototype is very similar to that of the stations compared. The average difference in temperature is 0.193 °C, 1.3% RH in humidity, 0.14 mbar in atmospheric pressure, 5.8% in solar radiation, 0.127 ° C in ground temperature and 0.485 m/s and 1.33° in wind speed and direction respectively. The cost benefit is 5 to 10 times lower. Likewise, a precise, economic and customizable tool is made available to the community according to the interest of the research.

*Keyword:* prototype, wheather station, software and hardware OpenSource, Arduino, high mountain.

## I. INTRODUCCIÓN

La implementación de estaciones meteorológicas en zonas de alta montaña tiene un alto costo económico. Sin embargo, la información de datos meteorológicos en estas áreas; es necesaria para la toma de decisiones y el desarrollo de estudios vinculados a la conservación hidrológica entre otros.

En la presente investigación se desarrolló el diseño, instalación y validación de un prototipo de estación meteorológica de bajo costo para factores climáticos de zonas de alta montaña, para lo cual se ha usado tecnología alterna y de libre acceso en la implementación y replicación del prototipo, y que cumpla con las diferentes normativas que rigen a los instrumentos de medición.

Mediante el proceso de validación del prototipo, en entornos más exigentes como las zonas de alta montaña, se podrá correlacionar los datos obtenidos en el prototipo con los datos de las estaciones meteorológicas firmadas por fabricantes de renombre (Campbell Scientific, HOBO, etc.). Logrando así, justificar o descartar el uso del prototipo o parte de este.

### 1.1. Descripción y formulación del problema

La meteorología es la ciencia encargada del estudio de la atmósfera, de sus propiedades y de los fenómenos que en ella tienen lugar (meteoros). Dicho estudio se basa en el conocimiento de una serie de magnitudes, o variables meteorológicas, como la temperatura, la presión atmosférica o la humedad, las cuales varían tanto en el espacio como en el tiempo (Rodríguez et al., 2004).

La herramienta más completa y estandarizada para llevar a cabo estos estudios es la estación meteorológica; siendo la EMA (estación meteorológica automática), una de las más completas y prácticas; Brock y Richardson (2001) la definen como una estación diseñada para monitorear variables meteorológicas, que comprende sensores, plataforma de montaje y un registrador o plataforma de recolección de datos.

En nuestro país son pocas las instituciones que cuentan con una red estaciones meteorológicas, las de mayor alcance las del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) y la del Servicio Meteorológico Aeronáutico, éstas se encargan sobre todo de registrar diversos cambios climáticos, pero en zonas urbanas o alrededor de éstas. La presencia de estaciones meteorológicas en zonas de alta montaña es casi nula debido entre otras razones al alto costo que conlleva implementarlas.

Por otro lado, en los últimos años se ha visto como diversos proyectos han sido diseñados e implementados con *Open Source*, hardware libre y otros sistemas de acceso libre. Estos han tenido un gran impacto entre la comunidad ya que sus costos son mucho menores y en muchos casos los resultados son prometedores. Estudios realizados por Vukovi y Rakovi (2008) respaldan lo anterior.

Recientemente Drotth y Soded (2016), señalan que mediante el uso de código abierto es posible crear prototipos de forma rápida y económica.

De lo expuesto, se puede inferir que la implementación de estaciones meteorológicas en zonas de alta montaña tiene una limitante económica, sin embargo, al diseñar un prototipo de estación en *Open Source*, el costo debería ser inferior, sin embargo, aun cabe la incógnita de que, si bien el costo es inferior, las mediciones de los instrumentos deben de tener una

precisión aceptada por lo que en base a esto se plantea el siguiente problema principal de investigación:

¿Hay diferencias estadísticas en las medidas de las variables meteorológicas del prototipo de estación meteorológica diseñado en bajo costo en comparación con estaciones meteorológicas estándar de precisión en zonas de alta montaña y además se encuentran diferencias en los costos?

Similarmente se busca dar respuesta a los siguientes problemas secundarios de investigación con la finalidad de puntualizar el alcance del estudio:

¿Cuáles son las diferencias estadísticas de los datos meteorológicos obtenidos del prototipo frente a los datos de una estación meteorológica marca Campbell en la quebrada de Quilcayhuanca -Huaraz – Ancash?

¿Cuáles son las diferencias estadísticas de los datos meteorológicos obtenidos del prototipo frente a los datos de una estación meteorológica marca HOBO en el glaciar de roca San Felix-Castilla-Arequipa?

¿Cuáles son los beneficios en términos económicos de la implementación del prototipo frente a una estación tradicional?

## **1.2. Antecedentes**

Kusriyanto y Anggara (2018), diseñaron una estación meteorológica usando un Arduino Mega 2560 como controlador, las variables meteorológicas de medición fueron precipitación (sensor FC-37), presión (sensor BMP180), temperatura y humedad (sensor DHT-22). La validación de estos se hizo con un registrador de datos (PCE-THB 40), obteniendo

como resultados un error del 3.74% para la temperatura, 2.14% para la humedad y 0.32% para la presión.

Similarmente, Morón et al. (2018) montaron una estación meteorológica basada en Arduino, para el monitoreo de la velocidad del viento (anemómetro 6710-WINd02), presión barométrica (sensor BMP085), calidad del aire (sensor MQ135), temperatura de ambiente y humedad relativa (sensor DHT-22). Los resultados obtenidos al comparar con una estación validada, precisa una diferencia de 1.54% en el caso de velocidad del viento, 4.78% en temperatura, 4.28% en humedad, 1.75% en presión barométrica y 0% en calidad de aire.

Por otro lado, Netto y Arigony-Neto (2019), diseñaron e implementaron una EMA en un glaciar, basada en plataforma abierta. Usando un controlador Arduino Uno, las variables de estudio fueron la presión atmosférica (sensor BMP280), humedad y temperatura ambiental (sensor DHT22), radiación solar (arreglo electrónico basado en LDR), temperatura de suelo o hielo (sensor DS18B20), velocidad y dirección del viento (kit de medición *sparkfun* SEN-08942). Los sensores de velocidad de viento, temperatura ambiental y de suelo, presión y humedad al compararlos con una estación Campbell tuvieron ligeras diferencias. Sin embargo, la medición de radiación solar no fue aceptable, por otro lado, en la dirección de viento obtuvieron medidas diferentes ya que ambos sistemas utilizan diferentes resoluciones.

**Tabla 1**

*Antecedentes al Estudio*

	<b>Kusriyanto y Anggara (2018)</b>	<b>Morón et al. (2018)</b>	<b>Netto et al. (2019)</b>
<b>Presión atmosférica</b>	0.95 (Coeficiente de correlación)	0.297 (Coeficiente de correlación)	0.9965 (Coeficiente de correlación)
<b>Temperatura ambiental</b>	0.98 (Coeficiente de correlación)	0.99 (Coeficiente de correlación)	0.9706 (Coeficiente de correlación)
<b>Humedad relativa</b>	0.99 (Coeficiente de correlación)	0.97 (Coeficiente de correlación)	0.8929 (Coeficiente de correlación)
<b>Radiación solar</b>	-	-	0.5793

			(Coeficiente de correlación)
<b>Temperatura del suelo</b>	-	-	0.9706 (Coeficiente de correlación)
<b>Velocidad del viento</b>	-	0.99	(Coeficiente de correlación) 0.8546 (Coeficiente de correlación)
<b>Dirección del viento</b>	-	-	0.0665 (Coeficiente de correlación)

### 1.3. Objetivos

#### 1.3.1. *Objetivo general*

Determinar la validez del prototipo de estación meteorológica de bajo costo para el registro de variables climáticas en zonas de alta montaña.

#### 1.3.2. *Objetivos específicos*

- Determinar la existencia de diferencias estadísticas de los datos meteorológicos obtenidos del prototipo frente a los datos de una estación meteorológica marca Campbell en la quebrada de Quilcayhuanca -Huaraz – Ancash.
- Determinar la existencia de diferencias estadísticas de los datos meteorológicos obtenidos del prototipo frente a los datos de una estación meteorológica marca HOBO en el glaciar de roca San Felix-Castilla-Arequipa.
- Analizar los beneficios económicos de la implementación del prototipo frente a una estación tradicional.

### 1.4. Justificación

La investigación se desarrollará, debido al alto costo (entre diez a cincuenta mil soles dependiendo de la marca, precisión y el lugar de instalación) que implica la implementación

de una estación meteorológica, sumado a la necesidad de contar con éstas en zonas de alta montaña, esto ya que el Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña entre otras instituciones realizan diversas investigaciones en base a la información que estas captan y procesan.

Por otro lado, al basar el diseño en *Open Source*, entre las diversas ventajas que se obtienen como costos, personalización y mayor apertura a la innovación, se buscará conseguir los mismos estándares que con otra tecnología.

Por lo expuesto es que se propone el desarrollo e implementación de un prototipo de estación meteorológica de bajo costo con capacidad de precisión comparable a una estación meteorológica estándar.

## **1.5. Hipótesis**

Las hipótesis en la presente tesis son en base a los objetivos tanto el general como el específico.

Objetivo general: Determinar la validez del prototipo de estación meteorológica de bajo costo para el registro de variables climáticas en zonas de alta montaña.

Hipótesis nula general (H0): El prototipo no es válido debido a que los datos obtenidos presentan diferencias estadísticas significativas.

Hipótesis alternativa general (H1): El prototipo es válido debido a que los datos obtenidos presentan diferencias estadísticas significativas.

Objetivo específico 1: Determinar la existencia de diferencias estadísticas de los datos meteorológicos obtenidos del prototipo frente a los datos de una estación meteorológica marca Campbell en la quebrada de Quilcayhuanca -Huaraz – Ancash.

H0: No se encontraron diferencias estadísticas entre los datos meteorológicos obtenidos del prototipo frente a los datos de una estación meteorológica marca Campbell en la quebrada de Quilcayhuanca -Huaraz – Ancash.

H1: Se encontraron diferencias estadísticas entre los datos meteorológicos obtenidos del prototipo frente a los datos de una estación meteorológica marca Campbell en la quebrada de Quilcayhuanca -Huaraz – Ancash.

Objetivo específico 2: Determinar la existencia de diferencias estadísticas de los datos meteorológicos obtenidos del prototipo frente a los datos de una estación meteorológica marca HOBO en el glaciar de roca San Felix-Castilla-Arequipa.

H0: No se encontraron diferencias estadísticas entre los datos meteorológicos obtenidos del prototipo frente a los datos de una estación meteorológica marca HOBO en el glaciar de roca San Felix-Castilla-Arequipa.

H1: Se encontraron diferencias estadísticas entre los datos meteorológicos obtenidos del prototipo frente a los datos de una estación meteorológica marca HOBO en el glaciar de roca San Felix-Castilla-Arequipa.

Objetivo específico 3: Analizar los beneficios económicos de la implementación del prototipo frente a una estación tradicional.

H0: No existe beneficio económico al implementar el prototipo en comparación a una estación tradicional.

H1: Si existe beneficio económico al implementar el prototipo en comparación a una estación tradicional.

## II. MARCO TEORICO

### 2.1. Bases teóricas sobre el tema de investigación

#### 2.1.1. Ciencias Atmosféricas

La Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2001), señala que para el propósito del texto referenciado los términos ciencias atmosféricas y meteorología tienen el mismo significado, añade que estudian la física, química y dinámica de la atmósfera y tienen como objetivos el mejor entendimiento y la predicción de los fenómenos atmosféricos, desde una escala local a una global, y con intervalos desde segundos hasta décadas o siglos.

Una de las herramientas más importantes para conseguir lo anterior es una estación meteorológica.

#### 2.1.2. Estación meteorológica

De los diferentes fabricantes así como manuales y guías como el Manual del Sistema Mundial de Observación (OMM, 2017) y la Guía de prácticas climatológicas (OMM, 2011), además de instituciones y empresas dedicadas al estudio de la meteorología, climatología y fabricación de estaciones meteorológicas y basándonos en la definición de PCE (2014) se puede inferir que es un lugar donde se ha llevado a cabo una instalación y ahí se realizan mediciones y observaciones puntuales de diferentes parámetros utilizando diferentes instrumentos.

Por otro lado, en el ámbito nacional el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI, 2013) la define conjuntamente con una estación agrometeorológica e hidrológica, coincidiendo con lo anterior añade que los registros los hace regularmente y el

lugar seleccionado ha seguido estándares de la OMM y del SENAMHI. Teniendo como fin entregar información representativa de las condiciones hidrometeorológicas de dicho lugar.

**2.1.2.1. Clasificación de estaciones meteorológicas.** Existen dos grandes grupos de estaciones meteorológicas: las estaciones meteorológicas convencionales (EC) y las estaciones meteorológicas automáticas (EMA). El Instituto de Física de la Facultad de Ciencias (IFFC, 2014), señala que la primera usa instrumentos mecanizados para medir (ver Figura 1), almacenándolas de manera manual por un personal cada hora convencionalmente.

### Figura 1

*Estación Meteorológica Convencional*



*Nota.* Reproducida de Estacion Convencional, de Facultad de Ciencias Exactas y Naturales – UBA, 2014 ([nexciencia.exactas.uba.ar](http://nexciencia.exactas.uba.ar)), CC BY 2.0

En la Figura 2 se muestra una estación meteorológica automática, sobre estas IFFC (2014), agrega que son una agrupación de instrumentos de medición de variables atmosféricas

con almacenamiento de datos, no es requisito necesario que esta transmita datos para ser denominada de esta forma.

## Figura 2

### *Estación Meteorológica Automática*



*Nota.* Reproducida de Estacion Meteorológica, de Freepng (Freepng.es), De dominio público

Por otro lado SENAMHI (2013), basándose en la clasificación de la OMM, propone una clasificación de las estaciones meteorológicas que se puede observar en la tabla 2.

**Tabla 2***Clasificación de estaciones*

<b>Clasificación</b>	<b>Sub clasificación</b>
<b>Sinópticas</b>	De altitud
	De superficie
<b>Climatológicas</b>	Principales
	Ordinarias
	Para propósitos específicos
	Pluviométricas
<b>Agrometeorológicas</b>	Principales
	Auxiliares
	Ordinarias
	Para propósitos específicos
<b>Hidrológicas</b>	Hidrométricas
	Fines hidrológicos
	Agua subterránea

Una estación meteorológica puede estar incluida en una o más clases mencionadas, dependiendo de su aplicación u observaciones adicionales realizadas (SENAMHI, 2013).

**A. Estación meteorológica automática.** Una estación meteorológica automática (EMA) se define como una estación meteorológica en la que se realizan observaciones automáticas y estas son transmitidas automáticamente (OMM, 2017).

En estas, las mediciones del instrumento son leídas o recibidas por la unidad central de adquisición de datos. La recolección de los datos se puede procesar localmente en la estación o en cualquier otro lugar. Siendo diseñadas en su mayoría como un concepto integrado de

varios dispositivos de medición en combinación con la unidad de adquisición y procesamiento de datos (OMM, 2014).

### ***2.1.3. Observaciones meteorológicas***

SENAMHI (2013), señala que estas son las evaluaciones o medidas y registros de uno o más elementos meteorológicos.

Para la OMM (2017) las observaciones meteorológicas (y las relacionadas con el medio ambiente y la geofísica) se realizan por una variedad de razones. Son utilizados para la preparación en tiempo real de análisis y pronósticos del tiempo e investigación en meteorología y climatología.

SENAMHI (2013), añade que la observación instrumental es aquella que se realiza con el empleo de instrumentos los cuales deben ser instalados bajo condiciones determinadas y de acuerdo con las recomendaciones de la OMM.

### ***2.1.4. Variables meteorológicas***

Rodríguez et al. (2004), consideran a la temperatura (instrumento de medida termómetro), la presión atmosférica (instrumento de medida barómetro), el viento (instrumento de medida anemómetro y veleta), la radiación solar (instrumento de medida heliógrafo), la humedad (instrumento de medida higrómetro) y la precipitación (instrumento de medida pluviómetro) como variables meteorológicas.

Rodríguez et al. (2004), agregan que una estación meteorológica normalmente dispone de varios de estos instrumentos, incluso todos si es muy completa.

### **2.1.5. Instrumentos de medición meteorológicos**

Según Brock y Richardson (2001), para poder considerar un dispositivo como instrumento debe contener al menos un sensor, un dispositivo de acondicionamiento de señal, y una pantalla de datos.

Teniendo en cuenta el concepto anterior se procede a definir a los más comunes en una estación meteorológica de una manera más específica.

**2.1.5.1.1 Temperatura:** Para fines meteorológicos, la temperatura se mide para una serie de medios. La variable más común que es medida es la temperatura del aire (a varias alturas), también se mide la del suelo, subsuelo y la del agua (OMM, 2014).

Para SENAMHI (2013), esta se determina mediante un termómetro u otro instrumento de exactitud igual o mayor (termógrafo, sensor electrónico, etc.). A la vez recomienda como sensores los basados en termo resistores metálicos (RTD, por sus siglas en inglés), termistores (PTC, NTC) y termocuplas, añade que estos deben de tener su protector de radiación solar.

**2.1.5.1.2 Radiación solar:** Brock y Richardson (2001), consideran dos métodos principales utilizados en la medición de la radiación: detectores térmicos que responden a la ganancia o pérdida de calor debido a la absorción de entrada o emisión de radiación saliente y detectores fotovoltaicos que convierten la radiación absorbida en un voltaje.

SENAMHI (2013), menciona que la medición se realiza con un piranómetro o pirheliómetro, estas se expresan en watt sobre metro cuadrado ( $W/m^2$ ).

**2.1.5.1.3 Precipitación:** Basándonos en Brock y Richardson (2001), se consideran dos métodos: las técnicas de medición puntual que implican medir una muestra recolectada de la lluvia y el uso de sensores remotos, generalmente radares, para estimar la lluvia en un área grande.

Los pluviómetros, son los instrumentos más comunes utilizados para medir precipitaciones. Generalmente se usa un receptáculo abierto con lados verticales, generalmente en forma de un cilindro y con un embudo, midiendo el volumen de recolección, estos son muy sensibles a los vientos (OMM, 2014).

Por otro lado, cuando lo que se quiere es medir la precipitación sólida o la acumulación de hielo, Brock y Richardson (2001), mencionan como instrumentos a una regla de nieve, recolector de nieve como las *Snow pillow* (almohadas de nieve), que entregan una acumulación de nieve en relación a la presión que ejerce.

Sobre esto la OMM (2014), agrega que el desarrollo de un dispositivo de rango ultrasónico de bajo costo son viables tanto para la observación como para la profundidad de nieve.

**2.1.5.1.4 Dirección y velocidad del viento:** El viento en la superficie generalmente se mide con una paleta de viento y una copa o un anemómetro de hélice, estos sistemas de medición consisten en procesar y registrar también (OMM, 2014).

Sobre estos sistemas SENAMHI (2013), señala que la medida de velocidad superficial del viento se expresa en metros por segundo (m/s) y la dirección en grados sexagesimales.

Sobre el sistema electrónico la OMM (2014), recomienda dos tipos uno basado en una generación de pulsos y otro de voltaje proporcional a la velocidad de rotación del anemómetro para la velocidad. La dirección se realiza mediante un encoder de 7 bits en el primer caso y con un conversor análogo-digital en el otro.

**2.1.5.1.5 Humedad relativa (HR):** Para Brock y Richardson (2001), con un instrumento bien diseñado, utilizado correctamente, es posible lograr una inexactitud de menos del 1 % de HR en el rango de 5 a 65 °C. La sensibilidad aumenta en proporción a la temperatura.

La OMM (2014), menciona que los instrumentos higroscópicos certificados muestran cambios en sus propiedades eléctricas en respuesta a un cambio en la humedad relativa del ambiente con solo una pequeña dependencia de la temperatura. Además, considera a los higrómetros electrónicos basados en electricidad resistiva (materiales plásticos tratados químicamente) y capacitancia eléctrica (variación de las propiedades dieléctricas de un sólido).

#### ***2.1.6. Zonas de alta montaña***

Aunque no existe una especificación de altitud para definir si una zona es de alta montaña o no, esta presenta características como tener fuertes vientos constantemente, temperaturas bajas (mayor parte del año) y presencia de hielo y nieve, sumado a la escasez de oxígeno (Smith, 2018).

Sobre esto Duraiappah et al. (2005), señalan que debido a la altitud esta le confiere condiciones especiales, producto de la dureza climática que soporta como bajas temperaturas, intensa radiación solar, fuertes vientos, precipitaciones elevadas y unos suelos pobres, resultando pocas condiciones de vida de los organismos, plantas y animales.

Cabello y Castro (2012), señalan que los ecosistemas que se encuentran en estas representan paisajes con incalculable valor ambiental, así como de una riqueza histórica y cultural sin precedentes y una importancia para el bienestar humano enorme por sus implicaciones en el suministro de eco servicios y recursos geóticos además de su implicación en el clima regional, local y en la provisión de agua dulce.

Duraiappah et al. (2005), añaden que, a pesar de las duras condiciones descritas, estas han impulsado procesos de especiación, así que estas zonas se caracterizan por poseer unas elevadas tasas de biodiversidad, añaden que casi una cuarta parte de esta y prácticamente la mitad de los puntos calientes de diversidad biológica del mundo se concentran en ellas.

#### ***2.1.7. Prototipos***

Gale (2015), lo define como un modelo inicial construido para probar un diseño, estos se usan ampliamente para perfeccionar elementos y procesos antes de implementarlos a gran escala siendo parte vital del proceso porque permite a los diseñadores ver el producto en acción y probar la funcionalidad, la seguridad y el potencial comercial.

Sobre el diseño de estos The Computer Language Company Inc. (CLC, 2016), señala que es esencial para aclarar los requisitos de información así como proporcionar especificaciones para un sistema real y de trabajo en lugar de uno teórico, ya cuando se ven resultados tangibles, se sabe qué falta o cuál sería la siguiente pregunta si se tratara de un sistema de producción. Si la creación de prototipos se realiza con cuidado, el resultado final es la especificación precisa del sistema final.

Sobre esto Gale (2015), agrega si el prototipo revela problemas, se puede modificar el diseño y construir otro prototipo, siendo común que a menudo haya varias rondas de prototipos

antes de finalizar el diseño, además de que estos no están destinados a ser versiones perfectas de los productos diseñados ya que es imposible usar los mismos materiales que se colocarán en el producto real (se usan materiales que sean similares pero no idénticos a los previstos).

Por otro lado THOMAS (2019), hace una clasificación general de prototipos: prototipo de principio, de estudio, visual y funcional, siendo este último el más parecido con el componente real en la medida en que puede usarse para probar su real funcionalidad. Aunque este se hace a una escala reducida para ahorrar dinero en materiales, se debe hacer uno final a escala real y verificar si hay fallas de diseño antes de ordenar un producto ejecutado del componente.

Gale (2015), sobre esto último menciona que un prototipo completamente funcional es un modelo de trabajo a gran escala del producto final, además señala que no es exactamente lo que contendrá el diseño final, pero que está lo suficientemente cerca como para permitir a los diseñadores ver si funcionará o no, pudiendo tan solo replicar parte de un diseño o crear el aspecto del objeto sin su funcionalidad, o la funcionalidad sin el aspecto.

### ***2.1.8. Microcontroladores***

Floyd (2008), señala que un microcontrolador es un microprocesador especializado diseñado especialmente para funciones de control.

Torrente (2013), profundiza en que es un circuito integrado (dispositivo electrónico que integra en un solo encapsulado un gran número de componentes) que tiene la característica de ser programable. Es decir, que es capaz de ejecutar de forma autónoma una serie de instrucciones previamente definidas por nosotros.

Por otro lado Trevenor (2012), considera que a diferencia de una computadora un microcontrolador es mucho mas simple, reducido y barato, siendo lo mas adecuado para realizar una sola tarea de una buena forma.

Trevenor (2012), agrega que un sistema basado en microcontrolador puede ser la interface al mundo real de diferentes artefactos o dispositivos, ademas de poder ser usado dentro de un sistema stand-alone.

**2.1.8.1. Arduino.** De la propia web de la compañía, se puede definir como una plataforma electrónica de código abierto basada en hardware y software fáciles de usar. El hardware puede leer entradas (luz en un sensor, un dedo en un botón o un mensaje de otro hardware) y convertirla en una salida (activar un motor, encender un LED, transmitir data) (Arduino, 2016).

Sobre lo anterior se puede agregar que según Ozer y Blemings (2011), Arduino es una fusión de tres elementos fundamentales: hardware, software y comunidad.

La programación está basada en Wiring, cuyo entorno es su propio software Arduino Software (IDE), sin embargo, al ser un proyecto de fuente abierta este puede soportar códigos basados en C y C++ (Ruiz et al.,2018).

El hardware es un microcontrolador en su mayoría de la familia Atmel AVR (Microchip, 2019), ensamblado en una tarjeta electrónica lo que le permite interactuar directamente con las entradas, salidas y el entorno de programación a diferencia del PIC cuyo hardware es solo un microcontrolador (se debe de diseñar una tarjeta aparte para la interfaz).

Los AVR de Atmel se han convertido en los más disponibles y eficientes de su tipo en comparación con otras familias de microcontroladores de bajo o medio rango (también en términos de costos). Estos básicamente contienen un procesador, una pequeña memoria flash programable y otra de RAM, pudiendo tener más extras como puertos de salidas o entradas entre otros (Trevenor, 2012).

Existen diversas versiones del módulo pudiéndose resaltar los Arduino UNO, Pro, Mega, Leonardo. Las velocidades de procesamiento van desde 8 MHz hasta los 44 MHz, además de variar en el número de salidas y entradas que pueden ofrecer (Arduino, 2019).

### **2.1.9. Sensores**

García (2001), define un sensor como un dispositivo que responde a alguna propiedad tipo eléctrica, mecánica, térmica, química, etc., generando una señal eléctrica susceptible a ser medida, y si a este se le adjunta un dispositivo de acondicionamiento de la señal, se le denomina transductor.

Tomando en cuenta su uso en microcontroladores, de las diversas especificaciones que los fabricantes señalan se debe de ahondar en las características estáticas.

Mandado et al. (2009) indican que estas características están relacionadas con la exactitud (medida que proporciona frente a la verdadera medida), precisión, repetitividad (valor máximo que, tiene la diferencia entre varias mediciones llevadas a cabo en un intervalo corto de tiempo) y la sensibilidad (variación de la señal de salida cuando se produce un cambio del valor de la magnitud a medir).

Especificando su uso en ciertas magnitudes y el objeto de la investigación podemos citar a Torrente (2013), quien señala al chip digital DS18B20 para medir temperatura (rango de -10 °C hasta 85 °C con una precisión del 0.5 °C), además del sensor DHT22/RHT03 para humedad relativa (rango de entre el 0 y 100 %, con una precisión del 2 al 5 % de HR).

#### ***2.1.10. Transmisión y almacenamiento de datos en microcontroladores***

Para poder replicar con éxito una estación meteorológica con microcontroladores, además de tener en cuenta el manejo de las magnitudes a medir, dichas medidas deben de ser almacenadas y/o transmitidas para poder realizar un análisis correspondiente.

De por sí, los controladores tienen como función interactuar con información que se les envía (entradas) y transmitirla (salidas), en el microcontrolador PIC llamando a una instrucción se puede realizar un almacenamiento tanto temporal como continuo. La comunicación de estos controladores es serial (un bit a la vez sobre un bus de comunicación).

En los microcontroladores Arduino el almacenamiento también es posible tanto en su propia memoria ROM o incluso en un módulo de memoria no volátil.

Se puede agregar que este microcontrolador tiene una gran versatilidad de comunicación, sobre esto Torrente (2013), señala que puede hacerlo mediante una red ethernet, Wifi y Bluetooth para lo cual se necesitan módulos compatibles con estos estándares y que son ampliamente difundidos.

### **III. MÉTODO**

Para el método del presente trabajo de investigación, se analiza primeramente el tipo de investigación, así como la delimitación tanto temporal como espacial, la población, muestra y variables de estudio.

Para el desarrollo de la investigación se considera aspectos como reglamentación en instrumentación, lugar de implementación y costos generales.

#### **3.1. Tipo de investigación**

La investigación es experimental debido a que existe intervención del investigador en una de las variables de estudio integrando actividades metódicas y poder observar los efectos en las mismas.

Por otro lado, también se le considera aplicada ya que los resultados del ensayo servirán para difundir alternativas tecnológicas a la comunidad científica como dar a conocer los beneficios del prototipo y a la vez de elaborar recomendaciones para mejorarlo.

#### **3.2. Ámbito temporal y espacial**

##### ***3.2.1. Temporal***

Temporalmente, la ejecución de la investigación se llevó a cabo en aproximadamente 9 meses entre el periodo de abril del 2019 a diciembre del 2019.

##### ***3.2.2. Espacial***

Espacialmente, la investigación se llevó a cabo las instalaciones del Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas – INAIGEM con sede en la ciudad de Huaraz.

La instalación del primer prototipo se realizó en la Quebrada de Quilcayhuanca (Ancash – Huaraz – Independencia), cuyas coordenadas son:

Latitud:  $-9^{\circ} 29.890^{\circ}\text{S}$

Longitud:  $77^{\circ} 24.999^{\circ}\text{O}$

Elevación: 3837 m s.n.m.

La instalación del segundo prototipo se realizó en el glaciar cubierto (Arequipa – Castilla– Chachas), cuyas coordenadas son:

Latitud:  $15^{\circ} 25.494^{\circ}\text{S}$

Longitud:  $72^{\circ} 10.546^{\circ}\text{O}$

Elevación: 5011 m s.n.m.

### 3.3. Variables

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
<p>Prototipo de estación meteorológica de bajo costo (X1)</p>	<p>Una estación meteorológica es el conjunto de variados instrumentos que toman medida de algunas características del clima. El tipo y cantidad de instrumentos a utilizar varían según el tipo de estación que se esté usando (OMM, 2017).</p>	<p>Sistema basado en un equipamiento de instrumentos destinados a captar, almacenar y transmitir diferentes magnitudes meteorológicas de la zona en donde se le ha instalado, siendo además el resultado del diseño de este estudio.</p>	<p>Fabricante</p>	<p>Hobo Campbell Estudio</p>

<p>Variables meteorológicas  (Y1)</p>	<p>Son parámetros, elementos caracterizadores del estado del tiempo que son medibles y que a través de su comportamiento permiten conocer cuál es la condición que presenta la atmosfera en su momento.</p> <p>(Gobierno Regional de Ayacucho [GR-Ayacucho], 2012).</p>	<p>Son las magnitudes meteorológicas registradas y almacenadas por las estaciones, dichos registros se comparan para evaluar que tan parecidas son.</p>	<p>Variables específicas</p>	<p>Temperatura del ambiente.  Humedad relativa.  Temperatura de la superficie del suelo.  Radiación solar.  Presión atmosférica.  Dirección del viento  Velocidad del viento.</p>
---	---	---	----------------------------------	---

### **3.4. Población y muestra**

#### ***3.4.1. Población***

La población del estudio está conformada por las variables meteorológicas registradas (temperatura ambiental, humedad relativa, presión atmosférica, radiación solar y temperatura del suelo), de la localidad de la Quebrada de Quilcayhuanca registradas desde el periodo junio a noviembre del 2019, y las que se pudieran registrar en el futuro.

También por las variables meteorológicas registradas (dirección y velocidad de viento), de la localidad del glaciar de roca San Felix registradas desde el periodo noviembre del 2019 a abril del 2020, y las que se pudieran registrar en el futuro.

#### ***3.4.2. Muestra***

La muestra está conformada por 2314 datos de comparación horaria de cada uno de las variables meteorológicas registradas que son las de temperatura ambiental, humedad relativa, presión atmosférica, radiación solar, dirección y velocidad de viento.

La técnica utilizada para la selección de la muestra es no probabilística, con aporte de cotas determinadas por el equipo de investigación.

### **3.5. Instrumentos**

Los instrumentos que se emplea para el diseño son:

- Software de programación Arduino IDE 1.8.9
- Software de modelamiento 3D Autodesk Inventor Professional 2016
- Software de diseño de diagramas y PCBs EAGLE 8.6.3

- Software de cómputo numérico MATLAB R2017b
- Software estadístico informático SPSS
- Microcontrolador Arduino Mega 2560
- Reglamentos y normas de instrumentación en estaciones

meteorológicas

- Especificaciones de los instrumentos de medición

Los instrumentos que se emplea para el ensamblaje son:

- Sistema de medición de temperatura ambiental y superficial del suelo.
- Sistema de medición de nivel de pluviosidad.
- Sistema de medición de velocidad y dirección.
- Sistema de medición de humedad relativa.
- Sistema de medición de radiación solar.
- Sistema fotovoltaico de almacenamiento de energía.
- Trípode o mástil de sujeción.
- Gabinete con circuitería de control y fuerza del sistema de

alimentación.

Mientras que para la recopilación de datos estos estarán basados en las técnicas de la observación directa.

Vale destacar que los principales instrumentos experimentales a emplear serán los sensores utilizados como instrumentos de medida.

A continuación, en la tabla 3, se detallan los demás implementos que se utilizan en la ejecución del proyecto:

**Tabla 3***Materiales usados*

Insumos	Equipos	Materiales de escritorio
Cables de conexión e instrumentación	01 computadora	Libretas de apunte
Estaño	01 multímetro digital	Lapiceros
Elementos de sujeción	01 cámara fotográfica digital	Lápices
		Papel bond A4

**3.6. Procedimientos**

Para la ejecución del proyecto de investigación se toma en cuenta como actividades principales:

**3.6.1. Diseño del prototipo**

**3.6.1.1. Requerimientos de diseño.** Para el diseño e implementación del prototipo se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

**A. Ambiente de implementación:** El lugar en donde se instalará el prototipo será en una zona de alta montaña, de acuerdo a esto todos los elementos del sistema han de ser lo suficientemente resistentes al ambiente agreste en donde trabajarán como el polvo, fuertes vientos, alta radiación, lluvia intensa, etc.

En tal sentido la certificación de los elementos electrónicos expuestos al ambiente, mecánicos y algún elemento que sirva como almacenador de otros, han de tener una certificación de protección capaz de soportar dichas condiciones (IP 65 mínimo).

**B. Fuentes de energía:** El sistema ha de ser autónomo en su alimentación energética (generación fotovoltaica) ya que en la zona de implementación no hay disponibilidad de fluido eléctrico, por lo tanto, los elementos del sistema han de ser lo más económicos en términos de consumo eléctrico, siempre y cuando sea posible.

La mayoría de elementos necesitan corriente continua para su funcionamiento, por lo que, dependiendo de la potencia de estos, se ha de tener en cuenta una o más fuentes de corriente continua y convertidores de voltaje.

**C. Regulaciones de la OMM:** Al tener que ser este prototipo validado con una estación meteorológica firmada por Campbell Scientific, los elementos que forman parte de este, las técnicas de medición con las que el prototipo será implementado y el propio montaje de la estación en sí y la de sus sensores tienen que cumplir con las normas y directivas que especifica la OMM.

**D. Programación:** El controlador ha de poder captar todas las señales que los sensores le entregan, almacenarlas en un módulo extra, esta información ha de ser fácilmente interpretada o decodificada (en caso sea necesaria).

**3.6.1.2. Selección de materiales.** Se buscan diferentes opciones para los diferentes elementos necesarios para el desarrollo del prototipo teniendo en cuenta las variables meteorológicas que se estudiarán (temperatura del ambiente y superficial del suelo, dirección y velocidad del viento, radiación solar y humedad). En la tabla 4 se muestran los materiales que se usan en el prototipo.

**Tabla 4***Materiales requeridos para el Montaje e Instalación del Prototipo*

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad de Medida</b>
<b>Estructura</b>		
Soporte (trípode o mástil de anclaje)	1	UND
Armario con grado de protección a la intemperie	1	UND
Abrigo meteorológico para sensores	1	UND
<b>Elementos electrónicos</b>		
Microcontrolador	1	UND
Sensor de temperatura de presión atmosférica	1	UND
Sensor de temperatura de ambiente	1	UND
Sensor de temperatura de suelo	3	UND
Sensor de radiación solar	1	UND
Sensor de humedad relativa	1	UND
Sensor de velocidad y dirección del viento	1	UND
Módulo de memoria SD	1	UND
Módulo RTC	1	UND
<b>Sistema Fotovoltaico</b>		
Panel solar 30 W / 12 V DC	1	UND
Batería 12 Ah/ 12 V DC	1	UND
Controlador de carga 12 V DC	1	UND

**A. Controlador y Datalogger.** Se ha seleccionado un controlador Arduino Mega (Figura 3) debido a su capacidad, las experiencias propias con este y la similitud en aplicaciones además de su costo accesible, en la tabla 5 se pueden encontrar las especificaciones de este. Para el almacenamiento de datos y captura de fecha y hora se usará un módulo SD y RTC (Figura 4 y tabla 6).

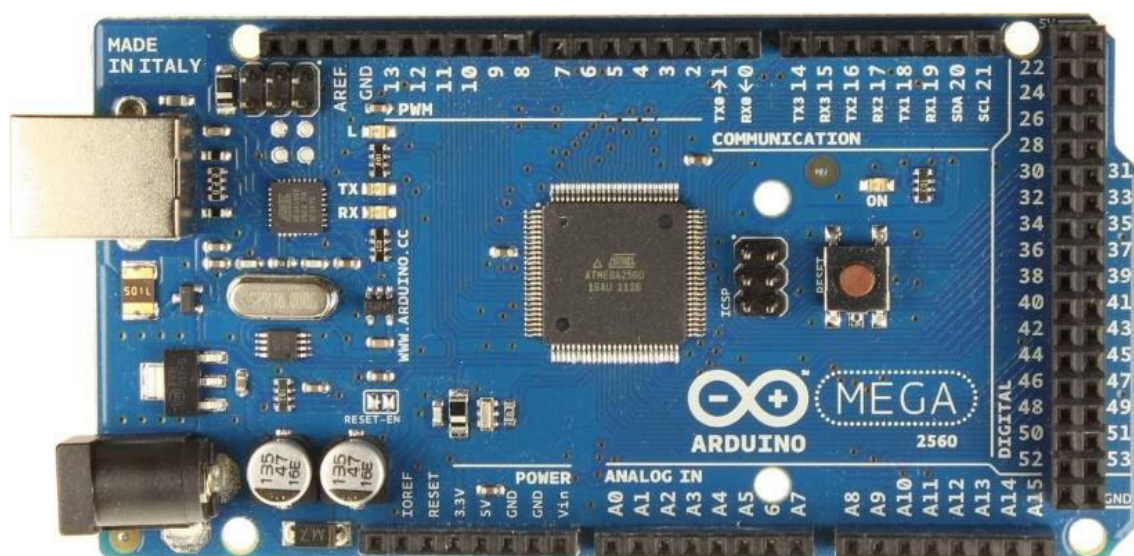
**Tabla 5**

*Especificaciones controlador Arduino Mega*

Nombre del módulo	Microcontrolador	Pines I/O	Entradas analógicas	Corriente máxima de salida	Flash	Sram	Voltaje de alimentación
Arduino Mega 2560 R3	ATmega2560, 16Mhz	54	16	40 mA	256 k	8k	6-20V / 5 V

**Figura 3**

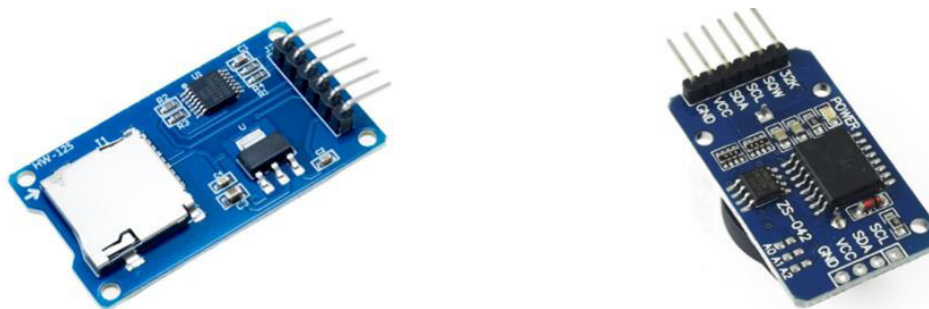
*Microcontrolador Arduino Mega*



*Nota.* Reproducida de Arduino Mega 2560, de Arduino (arduino.cc), de dominio público

**Tabla 6***Especificaciones modulo SD Card y RTC*

Nombre del modulo	Tipo de comunicación con el microcontrolador	Voltaje de alimentación
Módulo Micro SD Card	I2C	3.3 -5 VDC
Módulo RTC DS3231		3.3 – 5 VDC

**Figura 4***Modulo SD y RTC*

*Nota.* Reproducida de Modulos, de Robojax Inc (robojax.com), de dominio público

**B. Medición de presión atmosférica.** Para la medir esta variable se usa un sensor ampliamente difundido y usado en diferentes aplicaciones y con excelentes resultados además de venir firmado por una reconocida marca (BOSH), el BMP180 (Figura 5). La tabla 7 muestra las especificaciones de este.

**Tabla 7***Especificaciones sensor presión atmosférica*

Nombre del modulo	Rango de medida	Precisión	Comunicación con el microcontrolador	Resolución	Voltaje de alimentación
Sensor digital de presión BMP180	0.3-1.1 bar	0.001 bar	2C o SPI	0.00001 bar	3.3 -5.5 VDC

## Figura 5

### Sensor de Presión BMP180



Nota. Reproducida de BMP180, de ZQC (AliRadar.com), CC V2.0

**C. Medición de temperatura y humedad relativa.** Para la medición de estas dos variables se considera el uso de dos sensores con el objetivo de analizar la precisión de estos, el SHT31 y el AM2315 (Figura 6), el primero es una versión superior a los sensores DHT11 y DHT22 que son comunes en este tipo de aplicaciones, por otro lado, el AM2315 es un sensor con un encapsulado que protege a la parte electrónica, ambos tienen una sencilla integración tanto a nivel de software como hardware con la plataforma Arduino. Sus especificaciones más resaltantes se muestran en la tabla 8.

**Tabla 8**

#### Especificaciones Sensor de Temperatura y Humedad

Nombre del modulo	Rango de medida	Precisión	Comunicación con el microcontrolador	Resolución	Voltaje de alimentación
Sensor de humedad relativa y temperatura SHT31	-40°C a 125°C, 0 a 100% HR	± 0.2°C, 2% HR	Interface de comunicación I2C	0.015°C, 0.01%HR	2.4 - 5.5 VDC
Sensor de humedad y temperatura AM2315	-20°C hasta 80°C, 0 a 100% HR	± 0.1°C, 2% HR		0.01°C, 0.1%HR	3.5 - 5.5 VDC

**Figura 6**

*Sensores de temperatura y humedad relativa*



*Nota.* Reproducida de AM2315 Y SHT31, de Adafruit ([www.adafruit.com](http://www.adafruit.com)), CC V2.0

**D. Medición de temperatura superficial del suelo.** Para este parametro se decidio el uso del sensor de Temperatura Digital DS18B20 (Figura 7), debido entre otros a estudios similares donde este consiguio buenos resultados (Netto y Arigony-Neto, 2019; Rabbitcreek, 2019) y la rugosidad caracteristica de este ya que es empleado en diversas aplicaciones industriales. A continuacion en la tabla 9 se muestran las caracteristicas de este.

**Tabla 9**

*Especificaciones del sensor DS18B20*

Nombre del modulo	Rango de medida	Precisión	Tipo de comunicación con el microcontrolador	Resolución	Voltaje de alimentación
Sensor de Temperatura Digital DS18B20	- 55°C a 125°C	±0.5°C	1-Wire	0.01°C	3 -5. VDC

**Figura 7**

*Sensor DSB18B20*

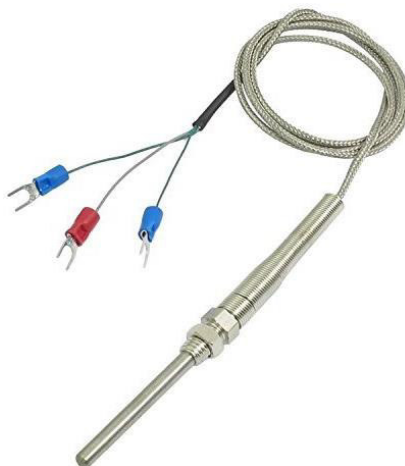


*Nota.* Reproducida de DSB18B20, de Adafruit ([www.adafruit.com](http://www.adafruit.com)), CC V2.0

Además debido a que la estación meteorológica con la que se realizara la validación de estos sensores no cuenta con sensores de este tipo se ha tenido que comprar un sensor con la certificación necesaria y poder darnos un alcance de la precisión de este. Específicamente se usa una sonda de temperatura PT100 de 3 hilos Clase A (precisión  $\pm 0,15^{\circ}\text{C}$  según la norma norma IEC 751:1995, Figura 8).

**Figura 8**

*PTC 100*



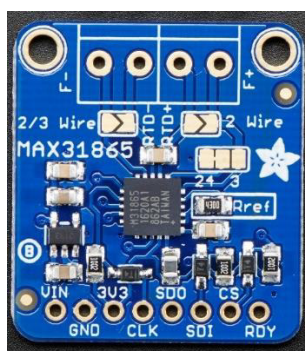
*Nota.* Reproducida de PTC 100, de Omega Engineering ([www.omega.com](http://www.omega.com)), CC V2.0

Típicamente este sensor es utilizado con controladores de temperatura que incluyen un PID para mantener una temperatura constante dependiendo de la aplicación que se le dé, sin embargo, para nuestros fines este debe ser totalmente compatible con el microcontrolador Arduino para ello existen diversos arreglos electrónicos basados en un divisor de voltaje, pero esto no es del todo exacto.

Por este motivo y dada la necesidad de contar un instrumento que sea lo más preciso posible se decidió por un acoplador de señal, específicamente el Módulo transmisor RTD PT100 MAX31865 (Figura 9), que será el encargado de acoplar la señal que envíe el termopar para que el microcontrolador Arduino lo puede procesar de manera correcta. En la tabla 10 se muestra las especificaciones de este.

### Figura 9

*Modulo MAX31865*



*Nota.* Reproducida de MAX31865, de Adafruit ([www.adafruit.com](http://www.adafruit.com)), CC V2.0

### Tabla 10

*Especificaciones del módulo MAX31865*

Nombre del módulo	Tiempo de conversión	Tipo de comunicación con el microcontrolador	Resolución	Voltaje de alimentación
Amplificador de sensor de temperatura - MAX31865	21 ms	SPI (Serial Peripheral Interface)	0.03125°C	3 -5. VDC

**E. Medición de velocidad y dirección del viento.** Para esta magnitud se tomó en cuenta las experiencias de los diferentes estudios que se encontraron, concluyendo que cuando se trató de crear prototipos de anemómetros mediante impresión 3D o mediante arreglos electrónicos basados en el movimiento de motores DC, han tenido resultados medianamente buenos al inicio, pero después estos no han tenido la resistencia aceptada.

Por lo anterior se decidió usar unos instrumentos que hayan sido expuestos a condiciones similares a las de zonas de alta montaña y que hayan tenido un correcto comportamiento.

Entre las diferentes alternativas que se contemplaron estas fueron el Weather Meters - SEN-08942 (Figura 11), que es un kit meteorológico que incluye un anemómetro, una veleta y un pluviómetro además del Davis Anemometer f/Vantage Pro2™ & Vantage Pro (veleta de dirección y anemómetro, Figura 10). En la tabla 11 se muestran las especificaciones más resaltantes de ambos.

### **Figura 10**

*Anemómetro Davids*



*Nota.* Reproducida de Anemómetro, Davis (davisinstruments.com), CC V2.0

**Figura 11**

Anemómetro SparkFun



*Nota.* Reproducida de Anemómetro, de Sparkfun (sparkfun.com), CC V2.0

**Tabla 11***Especificaciones Anemómetros*

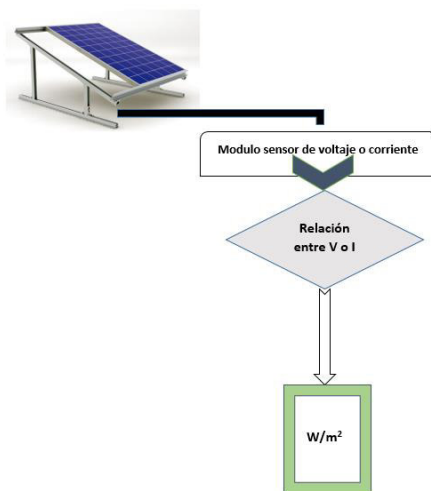
Nombre del modulo	Rango de medida	Precisión	Tipo de comunicación con el microcontrolador	Resolución	Voltaje de alimentación
Anemómetro for Vantage Pro2™ & EnviroMonitor	0° a 360°, 0.5 a 89 m/s.	$\pm 3^\circ, \pm 1$ m/s a 1.6 m/s		1°, 0.1 m/s	5 V DC
Weather Meters	0° a 360°, desde los 0.7 m/s	No indica	Analógica / Digital	22.5°, 0.7 m/s	5 V DC

**F. Radiación solar.** Para este parámetro se ha decidido usar una medición indirecta, haciendo una correlación entre la temperatura del ambiente y el voltaje o la corriente que genere

el panel solar, estos serán comparados con las medidas de radiación que entregue el piranometro de la estación con la que se realice la comparacion de medidas. En la Figura 12 se ejemplifica lo que se desarrolla:

**Figura 12**

*Correlación para hallar radiación solar*



Se usan dos sensores para poder encontrar la mejor relacion ya sea corriente-radiacion o voltaje-radiacion, el sensor ACS712T-5A (corriente) y el sensor MAX471 (voltaje). En la tabla 12 se muestran las especificaciones de estos.

**Tabla 12**

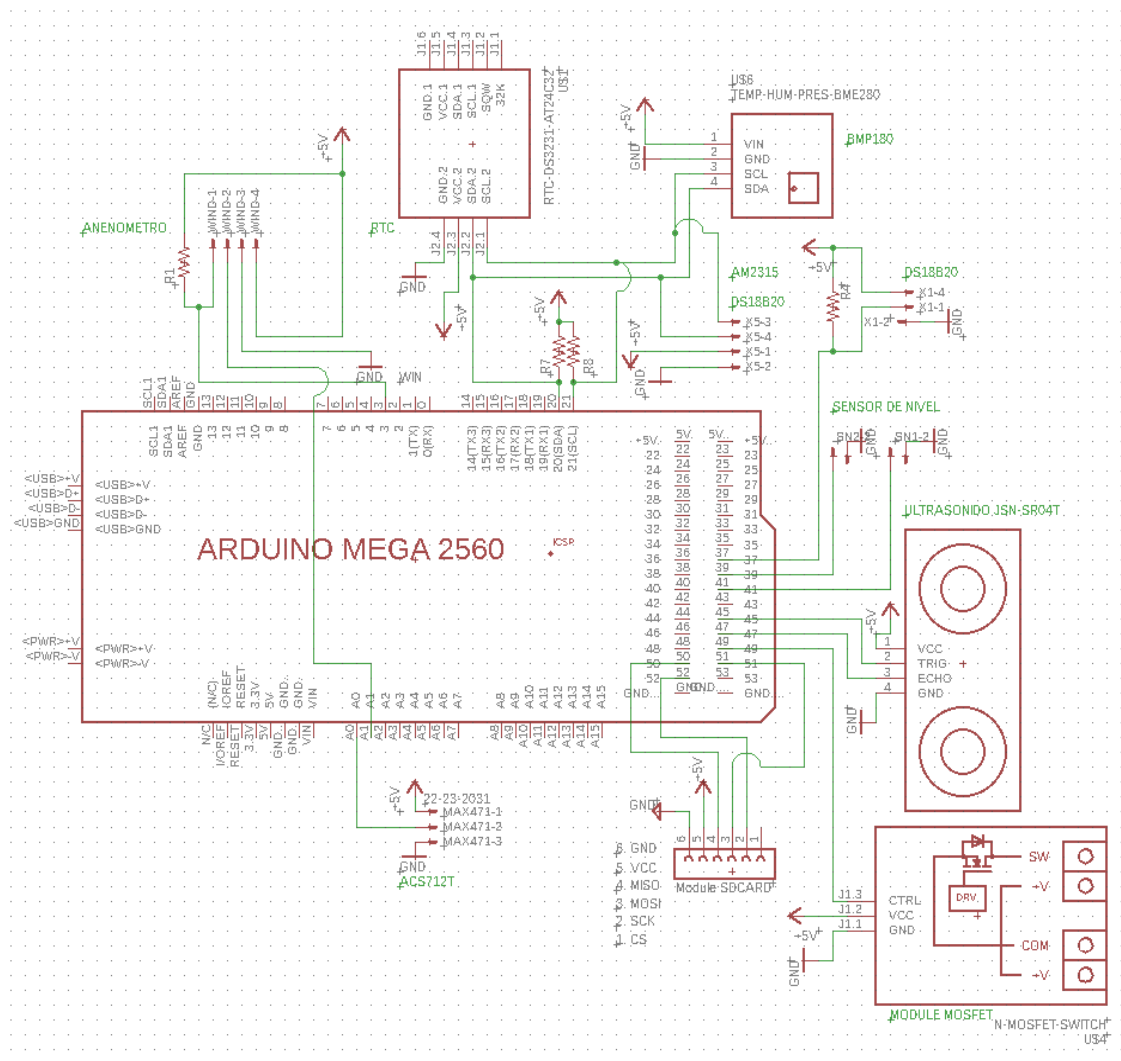
*Especificaciones modulo sensor de corriente y voltaje*

Nombre del modulo	Rango de medida	Precisión	Tipo de comunicación con el microcontrolador	Resolución	Voltaje de alimentación
Sensor de Corriente ACS712T-5A	0 – 5 A.	±1.5%	Analógica	185 mA	5 V DC
MAX471	0.025-26 V DC	±2%		0.00489V	5 V DC

**3.6.1.3. Diseño de un circuito impreso (PCB).** El dispositivo a diseñarse es una placa de circuito impreso (PCB) que ha de almacenar a los diferentes elementos electrónicos del sistema tales como el microcontrolador, módulos, resistencias y demás componentes necesarios. En la Figura 13 se muestra la conexión de estos.

**Figura 13**

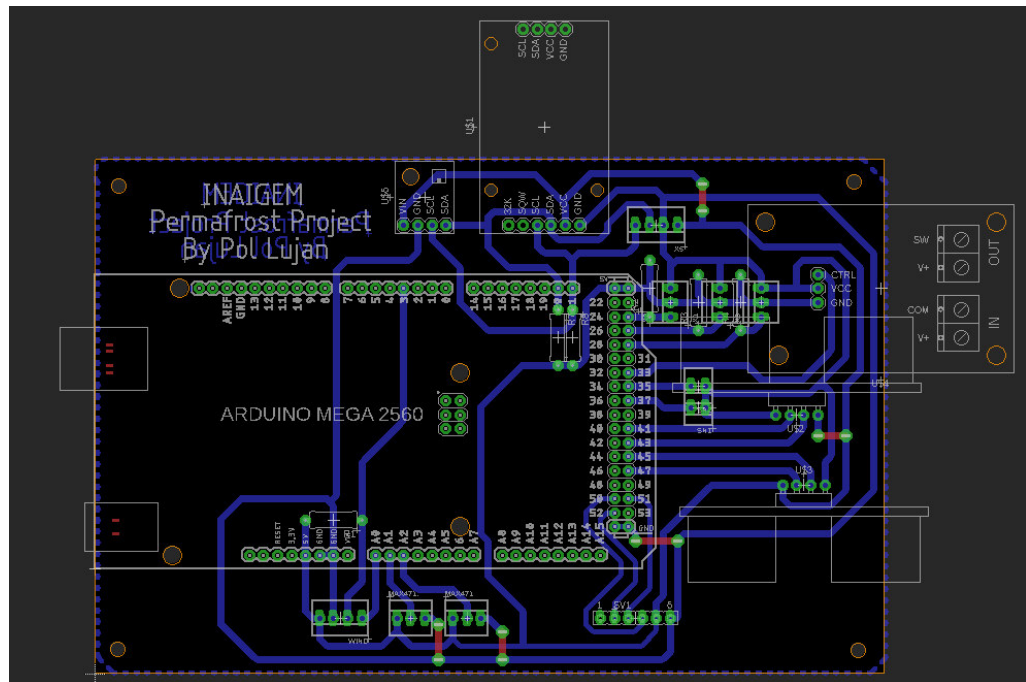
*Esquemático del circuito*



Se realizó el diseño de la PCB en el software AUTODESK EAGLE, versión 8.6.3 para posteriormente realizar la impresión de la misma. En las Figuras 14, 15, 16 y 17 se muestran desde el diseño hasta la fabricación del circuito impreso.

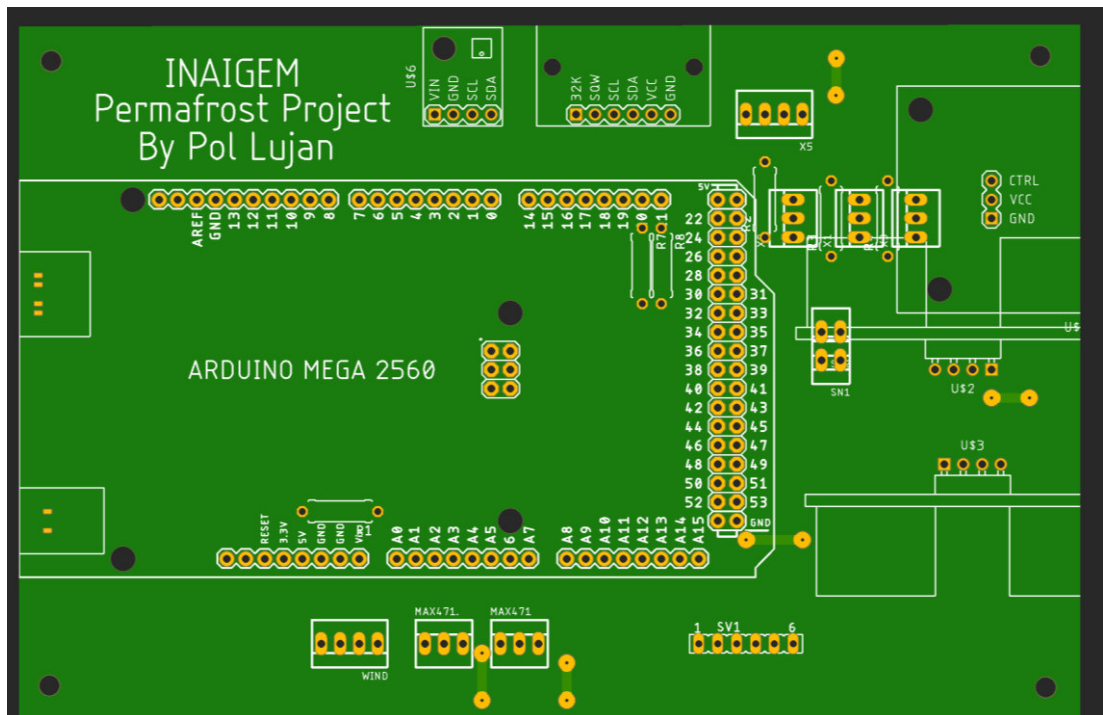
**Figura 14**

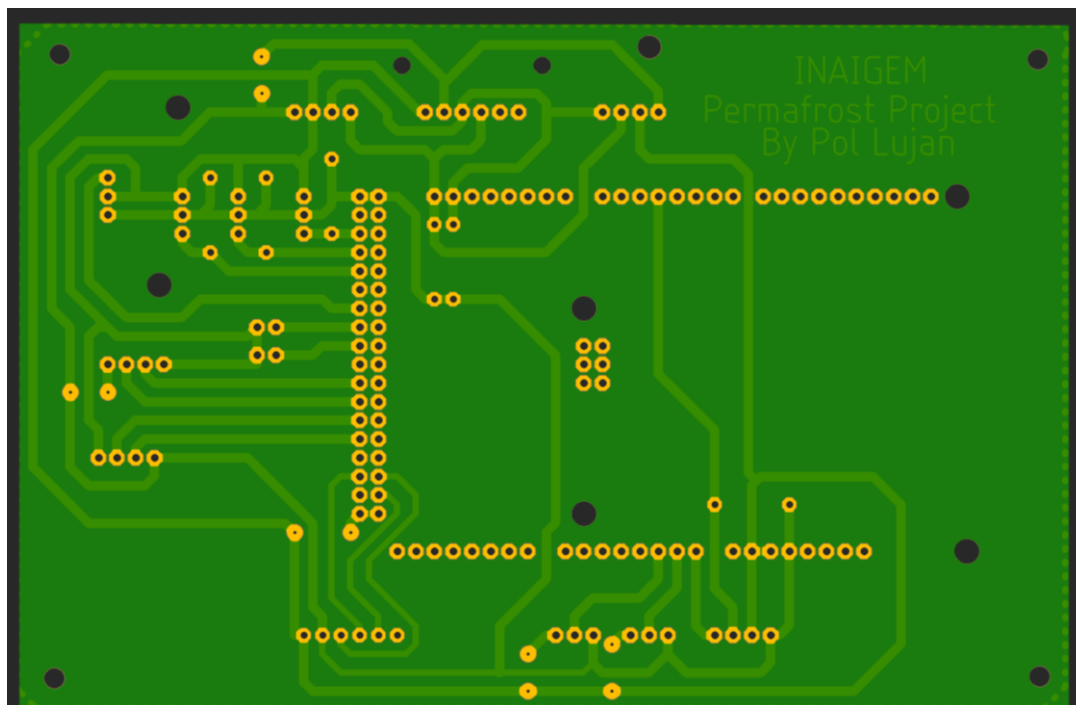
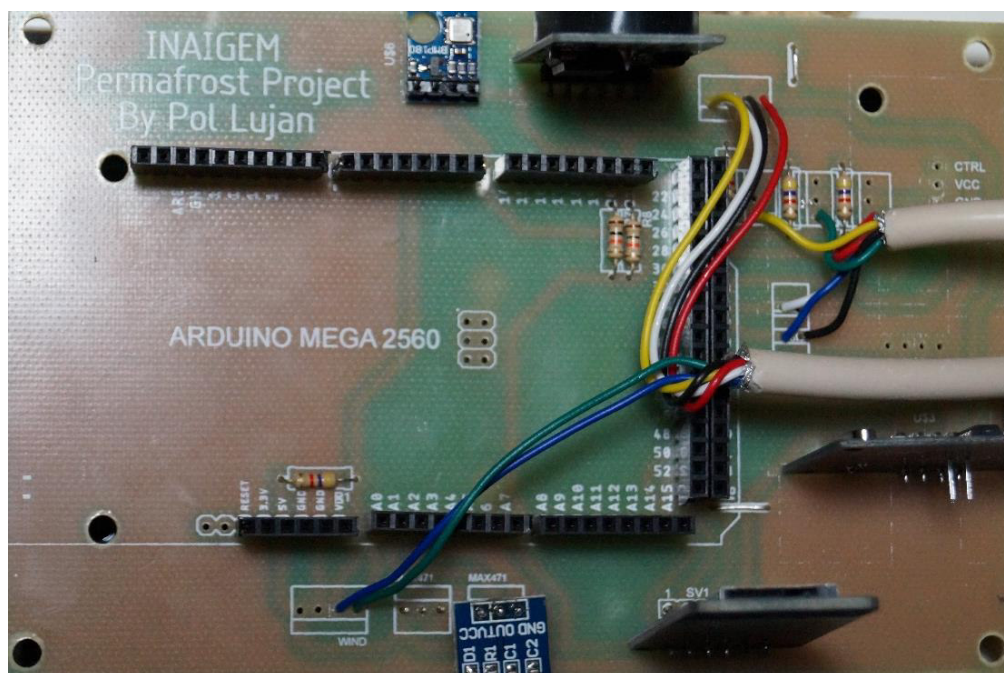
*Diseño en EAGLE*



**Figura 15**

*Top view de la PCB*

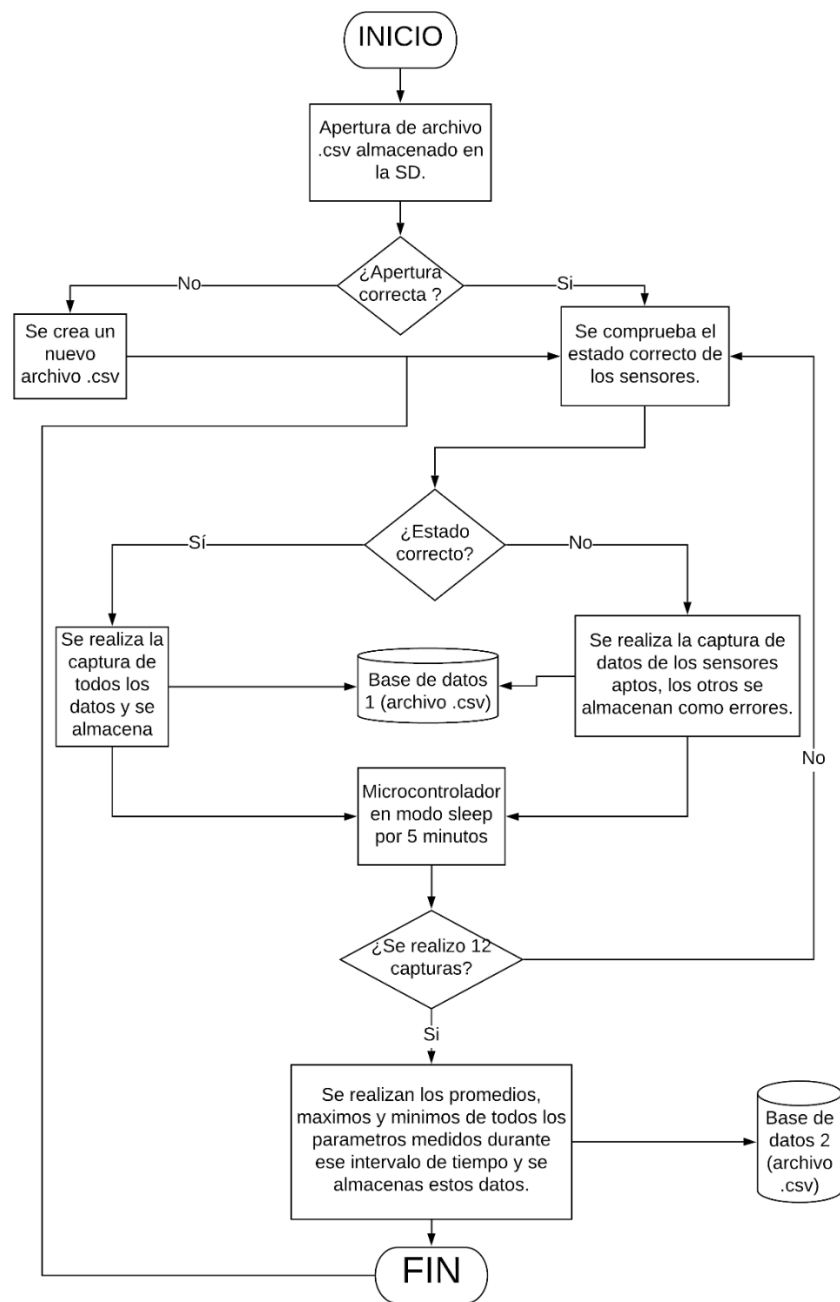


**Figura 16***Botton view***Figura 17***PCB impresa y ensamblada*

**3.6.1.4. Diseño de código para el microcontrolador.** El conjunto de instrucciones que realizara el microcontrolador serán escritas en el IDE (entorno de desarrollo integrado) de Arduino y este responde al siguiente diagrama de flujo que se muestra en la Figura 18:

**Figura 18**

*Diagrama de flujo*



El microcontrolador almacena los datos que le prevean los sensores, así como realiza cálculos aritméticos.

En el código están presente todas las librerías utilizadas, así como una detallada descripción del uso de los pines (Figuras 19 y 20).

## Figura 19

### *Variables y pines declarados*

```
//Variable y pines declarados
RTC_DS1307 rtc;
SFE_BMP180 bmp180;
File myFile;
int segundo,minuto,hora,dia,mes;
long anio; //variable año
DateTime HoraFecha;
//promed mzx min
int contador_lecturas;

//WIND DIRECCION
int VaneValue;// raw analog value from wind vane
int Direction;// translated 0 - 360 direction
int CalDirection;// converted value with offset applied
#define Offset 0;

int tn2 = 35;
int tn1 = 37;
int succ = 33;
int estadotn2 = 0;
int estadoAnteriorotn2 = 0; // Variable que almacena el estado anterior del pulsador
int contadorPulsaciones = 0;
float Pmm;
const int trigger=47;
const int echo=45;
float distance;
int num;

#define WindSensorPin (3) // The pin location of the anemometer sensor
volatile unsigned long Rotations; // cup rotation counter used in interrupt routine
volatile unsigned long ContactBounceTime; // Timer to avoid contact bounce in interrupt routine
float WindSpeed; // speed miles per hour
```

## Figura 20

### Librerías utilizadas

```
//librerías
#include <Adafruit_AM2315.h>
Adafruit_AM2315 am2315;
#include <SD.h>
#include <SFE_BMP180.h>
#include <Wire.h>
#include "RTClib.h"
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <Arduino.h>
#include <Average.h>
#include <math.h>
#include <avr/sleep.h>
#include <avr/wdt.h>
```

### 3.6.2. Ensamblaje del prototipo

**3.6.2.1. Ensamblaje electrónico.** El microcontrolador Arduino ha de ser el que debe de estar interconectado con todos los captadores de magnitudes (sensores) y estos han de estar alimentados con la propia fuente del Arduino. En la tabla 13 se muestra la demanda de voltaje de los elementos electrónicos.

**Tabla 13**

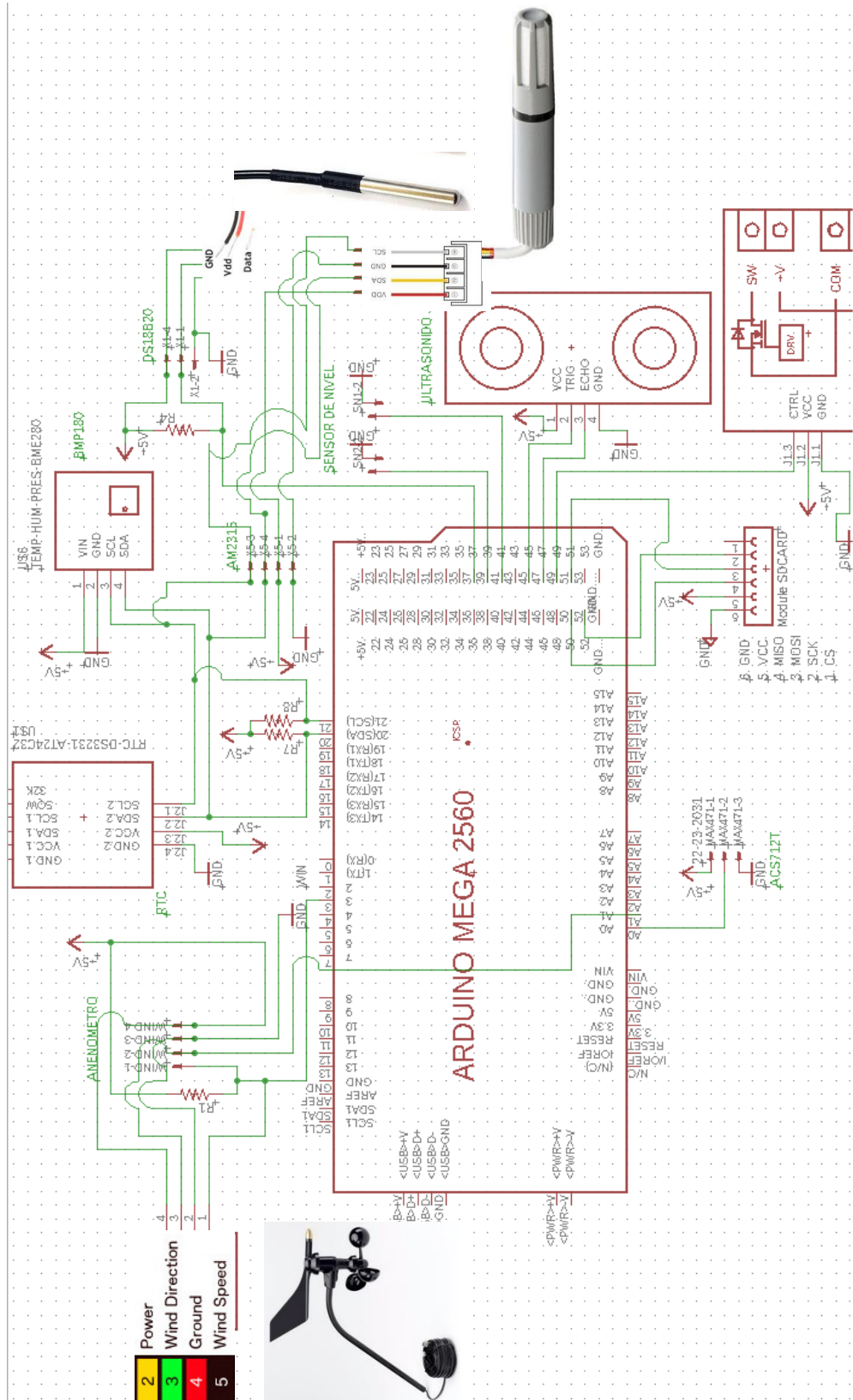
#### Componentes ensamble electrónico

Componente	Voltaje de funcionamiento
Controlador Arduino Mega 2560	12 V DC
Transmisor de temperatura de ambiente y humedad	5V DC
Transmisor de temperatura del suelo	5V DC
Transmisor de radiación solar	5V DC
Transmisor de velocidad y dirección de viento	5V DC
Módulo reloj horario	5V DC
Módulo de memoria SD	5V DC

Las conexiones entre los diferentes módulos y el microcontrolador corresponden a la figura 12. Se agrega ahora la conexión con los pines de los sensores y demás componentes fuera de la tarjeta PCB que se muestra en la Figura 21.

Figura 21

Esquemático con pines para conexión de sensores



**3.6.2.2. Ensamblaje mecánico.** Tanto el microcontrolador, módulos electrónicos, elementos del sistema fotovoltaico y demás partes que no tienen la suficiente protección para estar a la intemperie estos han de estar contenidos en el gabinete.

Los otros elementos que necesitan estar en contacto con el ambiente tales como los sensores (los de temperatura y humedad necesitan un elemento protector de radiación según norma) y el panel solar. Todos estos deben de ser soportados de diferentes formas por la estructura de soporte, esta a la vez debe de estar correctamente fijada en suelo con los elementos necesarios para asegurar su estabilidad. En la tabla 14 se muestra como se ha acomodan los elementos del prototipo, mientras que en la Figura 22 el diseño de estos.

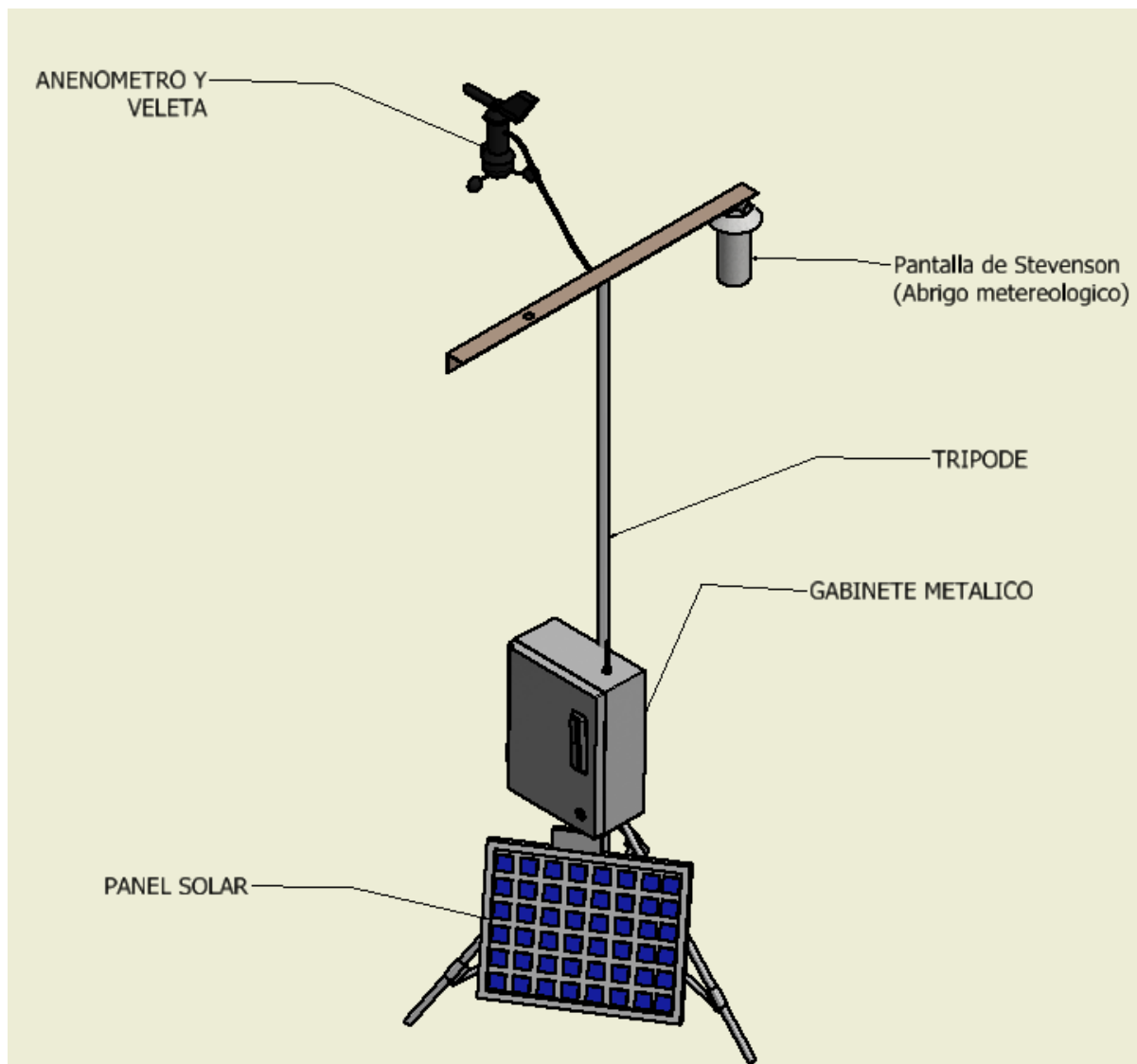
**Tabla 14**

*Componentes Ensamblaje mecánico*

<b>Componente</b>	<b>Forma de soporte</b>
Gabinete de almacenamiento	Adosado a la parte baja del soporte
Estructura de soporte (trípode)	Superpuesto en el suelo
Abrigo meteorológico	Atornillado en un extremo del soporte a 1.5 metros sobre el suelo como mínimo
Panel solar	Adosado a la parte baja del soporte (entre las patas del soporte)
Anemómetro y veleta de viento	Adosado en la parte alta del soporte

**Figura 22**

*Diseño del prototipo en 3D*



### ***3.6.3. Instalación***

Luego de determinado que el sistema está diseñado correctamente y no presente mayores problemas hasta la etapa anterior, se procede a llevar el prototipo a campo y dejarlo operativo. Se ha de ubicar los sensores con el objetivo de que estos obtengan la mejor medida y no verse afectados por las condiciones ambientales en los que trabajaran además de cumplir con los estándares de la OMM.

La instalación se llevó a cabo a finales de junio del 2019 en la Quebrada de Quilcayhuanca (Ancash – Huaraz – Independencia), en la Figura 23 se muestra la vista satelital de la ubicación cuyas coordenadas son:

Latitud:  $-9.497310^{\circ}$

Longitud:  $-77.416612^{\circ}$

Elevación: 3837 m s.n.m.

### Figura 23

*Vista satelital*



El sistema debe tener autonomía energética por lo que su ubicación está acorde con las necesidades que demanda (producto de un dimensionamiento fotovoltaico). El prototipo en esta etapa queda apto para ser optimizado en un futuro. En la Figura 24 se muestra el equipo ya instalado.

**Figura 24**

*Prototipo instalado*



Se ubica al prototipo de estación meteorológica al lado de una estación meteorológica de marca Campbell Scientific con el fin de comparar sus medidas. En la Figura 25 se puede notar esto.

## Figura 25

### *Prototipo y estación Campbell*



#### **3.6.4. Validación de instrumentos**

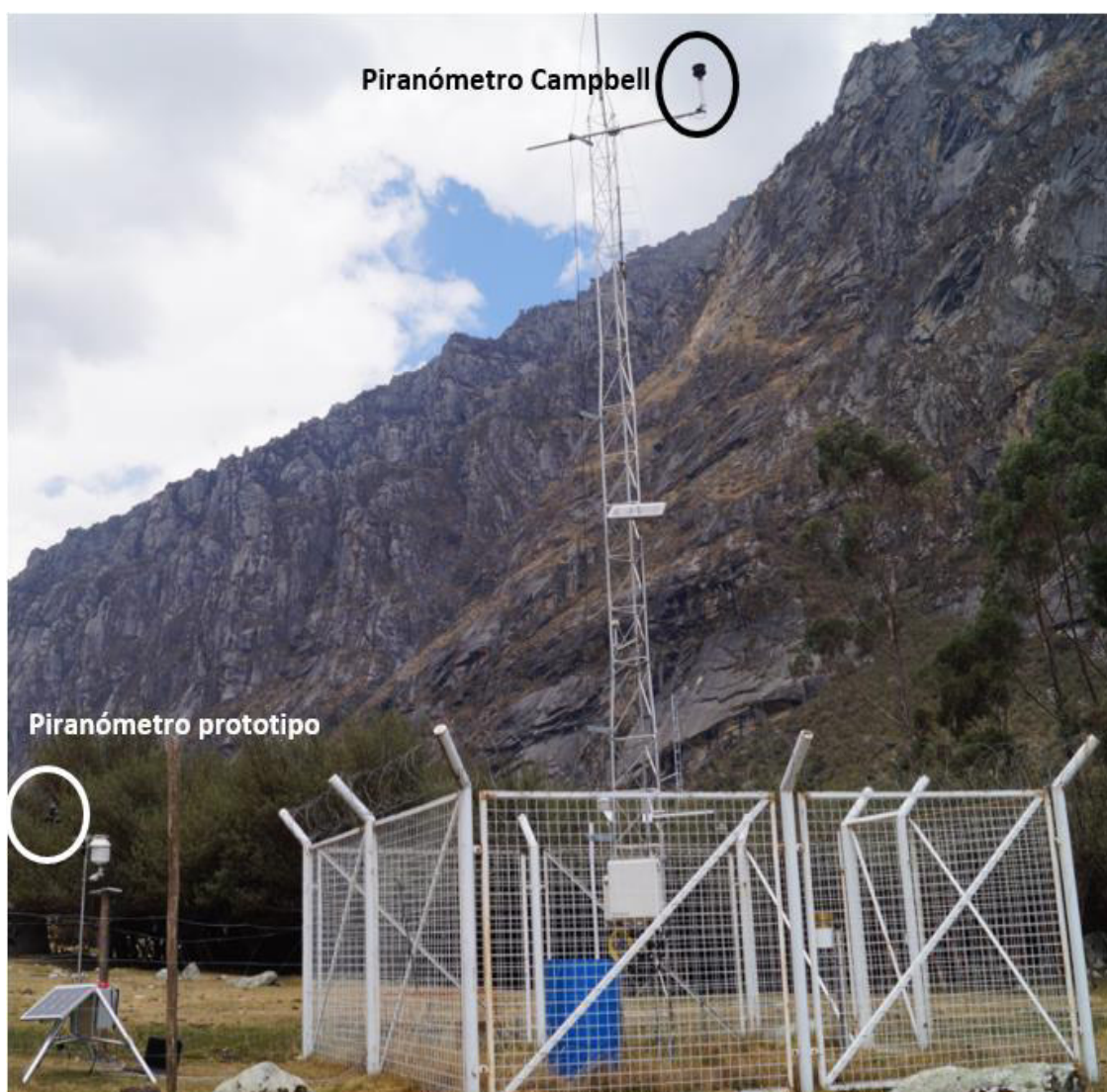
Luego de la instalación del prototipo, pasadas unos meses de continuo monitoreo de la estación controlando los parámetros de estas, así como realizando la recolección de datos, se realizó una descarga de datos de la estación Campbell para así poder comparar ambas medidas de cada variable meteorológica censada.

Para las variables de presión atmosférica, temperatura ambiental, humedad relativa y temperatura superficial se realiza una comparación simple entre los datos de la estación prototipo y la estación Campbell en Quilcayhuanca, dicha comparación es con los datos promedios cada hora de cada estación durante 6 meses.

Mientras que para las variables de velocidad y dirección de viento se realizó al igual que con las otras variables una comparación simple pero en otra instalación realizada en el glaciar de roca San Félix (Chachas - Castilla – Arequipa), esto debido a que los instrumentos de medición del prototipo (Figura 28) y la estación Campbell (Figura 27) se encuentran enormemente desnivelados (aproximadamente 7 metros, Figura 26) y para poder realizar una correcta comparación no debería existir tal desnivel, por lo tanto se hizo una comparación con otra estación de marca HOBO que entrega datos cada hora y con los que se realizara la comparación, en la Figura 29 se puede notar esto.

### Figura 26

*Desnivel entre anemómetros (Quilcayhuanca)*



**Figura 27**

*Anemómetro Campbell*

**Figura 28**

Anemómetro de prototipo



**Figura 29**

*Anemómetros a nivel (Glaciar de roca)*



**3.6.4.1. Radiación solar.** A diferencia de las demás variables, para la medición de radiación solar se realiza una medida indirecta realizando una correlación entre la corriente que genera el panel solar de la estación prototipo y la radiación que registra el piranómetro de la estación Campbell.

Dicha correlación se realizará gracias a la ayuda del software MATLAB, donde sea crea un script donde al entregarle la corriente del panel nos devuelva la radiación solar.

Para ello se separan los datos registrados por el piranómetro de la estación Campbell y la corriente del panel solar de la estación prototipo (Figura 30), estos se ingresan al script

(Figura 31) donde realiza un versus de corriente y radiación expresado en la Figura 32, la correlación se consigue gracias a un conjunto de ecuaciones que genera el software. Se usó datos de aproximadamente 2 semanas para conseguirlo.

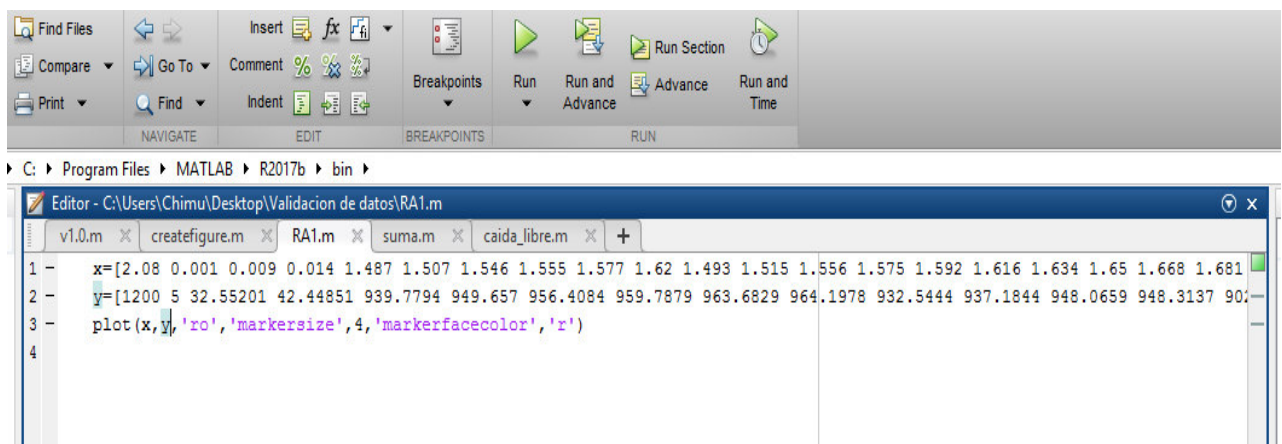
### Figura 30

*Datos de corriente y radiación*

Time	Radiacion Ciad	Corriente panel	Absoluto corriente
02/07/2019 07:00	0	0	
02/07/2019 07:05	0	0	
02/07/2019 07:10	0	0	
02/07/2019 07:15	0	0	
02/07/2019 07:20	0	0	
02/07/2019 07:25	39.73566	0	0
02/07/2019 07:30	204.6909	-0.007	0.007
02/07/2019 07:35	224.0359	-0.015	0.015
02/07/2019 07:40	243.6423	-0.022	0.022
02/07/2019 07:45	262.716	-0.029	0.029
02/07/2019 07:50	283.5988	-0.038	0.038
02/07/2019 07:55	303.9659	-0.048	0.048
02/07/2019 08:00	324.3365	-0.07	0.07
02/07/2019 08:05	344.1821	-0.096	0.096
02/07/2019 08:10	363.4899	-0.114	0.114
02/07/2019 08:15	383.3183	-0.136	0.136
02/07/2019 08:20	403.136	-0.158	0.158
02/07/2019 08:25	422.9356	-0.171	0.171
02/07/2019 08:30	442.2226	-0.171	0.171
02/07/2019 08:35	462.0249	-0.208	0.208
02/07/2019 08:40	485.486	-0.232	0.232
02/07/2019 08:45	505.7964	-0.259	0.259
02/07/2019 08:50	525.5932	-0.289	0.289
02/07/2019 08:55	545.9055	-0.335	0.335
02/07/2019 09:00	567.7825	-0.387	0.387
02/07/2019 09:05	588.0702	-0.438	0.438
02/07/2019 09:10	604.1923	-0.496	0.496
02/07/2019 09:15	622.411	-0.561	0.561
02/07/2019 09:20	640.6423	-0.608	0.608

### Figura 31

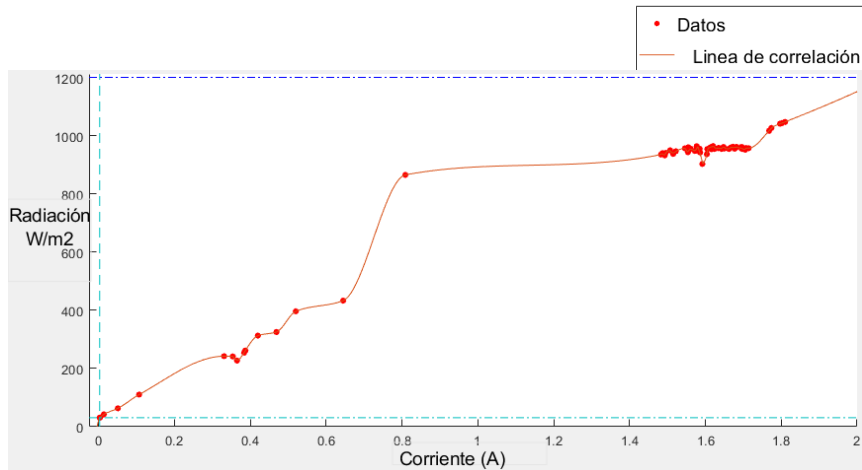
*Script en MATLAB*



```

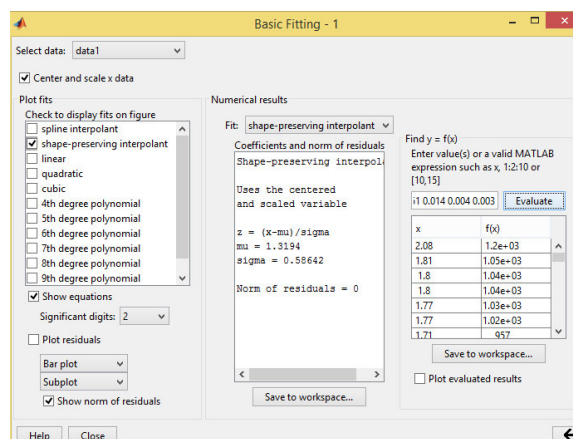
Editor - C:\Users\Chimu\Desktop\Validacion de datos\RA1.m
v1.0.m x createfigure.m x RA1.m x suma.m x caida_libre.m x +
1 - x=[2.08 0.001 0.009 0.014 1.487 1.507 1.546 1.555 1.577 1.62 1.493 1.515 1.556 1.575 1.592 1.616 1.634 1.65 1.668 1.681
2 - y=[1200 5 32.55201 42.44851 939.7794 949.657 956.4084 959.7879 963.6829 964.1978 932.5444 937.1844 948.0659 948.3137 90
3 - plot(x,y,'ro','markersize',4,'markerfacecolor','r')
4

```

**Figura 32***Correlación en Matlab*

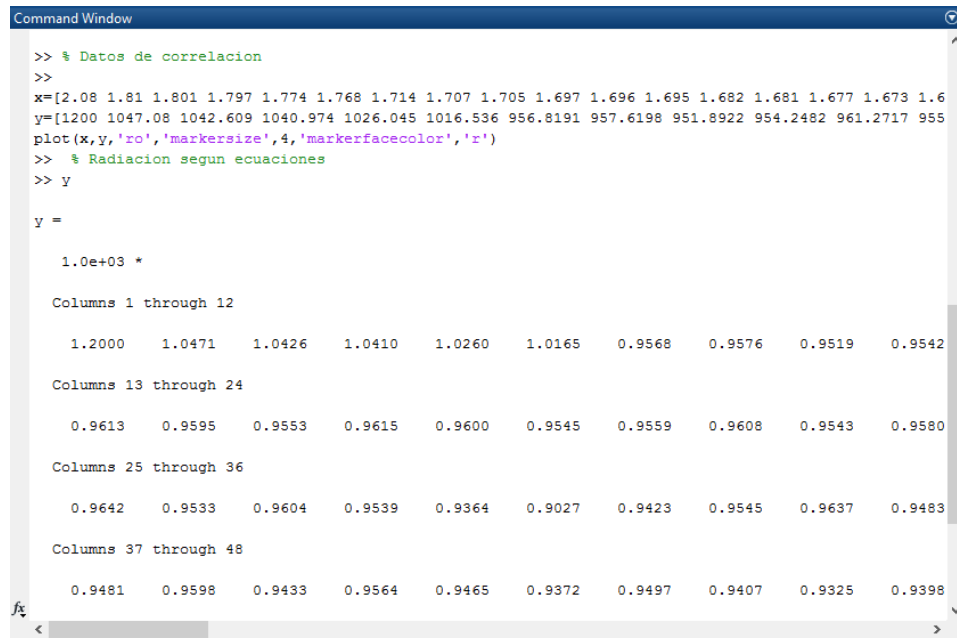
Analizando lo anterior se debe de aclarar que con este sistema solo se podría medir radiaciones entre 25 W/m<sup>2</sup> (ya que es el mínimo encontrado) y 1200 W/m<sup>2</sup> debido a que la máxima corriente registrada es 2.08 amperios a partir de los 1200 W/m<sup>2</sup> de ahí en adelante esta sigue siendo la misma.

Con el script se procede a evaluar las corrientes de los demás días y evaluar las medidas que se genera con este y la del piranómetro de la estación Campbell (Figuras 33 y 34).

**Figura 33***Ingreso de datos de corriente en script*

**Figura 34**

*Generación de medidas de radiación solar a partir de datos de corriente*



```

Command Window

>> % Datos de correlacion
>>
x=[2.08 1.81 1.801 1.797 1.774 1.768 1.714 1.707 1.705 1.697 1.696 1.695 1.682 1.681 1.677 1.673 1.6
y=[1200 1047.08 1042.609 1040.974 1026.045 1016.536 956.8191 957.6198 951.8922 954.2482 961.2717 955
plot(x,y,'ro','markersize',4,'markerfacecolor','r')
>> % Radiacion segun ecuaciones
>> y

y =

    1.0e+03 *

Columns 1 through 12

    1.2000    1.0471    1.0426    1.0410    1.0260    1.0165    0.9568    0.9576    0.9519    0.9542

Columns 13 through 24

    0.9613    0.9595    0.9553    0.9615    0.9600    0.9545    0.9559    0.9608    0.9543    0.9580

Columns 25 through 36

    0.9642    0.9533    0.9604    0.9539    0.9364    0.9027    0.9423    0.9545    0.9637    0.9483

Columns 37 through 48

    0.9481    0.9598    0.9433    0.9564    0.9465    0.9372    0.9497    0.9407    0.9325    0.9398

```

### 3.7. Análisis de datos

Una vez concluida con la metodología del estudio desde la selección de materiales hasta la instalación del prototipo y con este ya funcionando se procede a realizar el análisis de los datos recolectados. Este análisis corresponde a los datos generados de todas las variables meteorológica por la estación prototipo y los de la estación Campbell y HOBO, estas son temperatura de ambiente, humedad relativa, temperatura del suelo, radiación solar, presión atmosférica, velocidad y dirección del viento.

El resultado del análisis es la comparación de medidas de ambas estaciones con el fin de comparar el grado de diferencia que existe entre estas, para esto se utiliza el test no paramétrico de Wilcoxon, que permite comparar poblaciones cuando sus distribuciones no satisfacen las condiciones necesarias para otros test paramétricos, como el de que los datos generados (mediciones de las variables metereológicas) deben de tener una distribución

normal, esto no se cumple ya que cuando se realizan las pruebas de normalidad con ayuda del software SPSS se encuentran que los datos tienen una distribución no normal.

Al ver esto es que se decide utilizar una prueba no paramétrica que es una alternativa al t-test siendo una de las pruebas más potentes de entre las no paramétricas. La aplicación de la prueba exige que los datos de ambas muestras vengan medidos, al menos en escala ordinal, y su correcta ejecución requiere que las distribuciones muestrales tengan la misma forma (asimetría y curtosis), lo cual cumple con la distribución de nuestros datos.

Al poner a pruebas nuestros datos se obtendrán los resultados con los que finalmente se podrán validar o descartar los sensores e instrumentos usados, además, se podrá comprobar que las especificaciones de los elementos son las adecuadas para el ambiente en el que trabajan y corroborar que el prototipo es fácilmente replicable en otro espacio.

## IV.RESULTADOS

Del capítulo anterior en donde se detalla la metodología seguida para el diseño e instalación del prototipo, con el objetivo de obtener una solución de bajo costo, pero con la misma calidad de datos que al adquirir una estación meteorológica de precisión. En este capítulo se presentan los resultados del estudio de la siguiente manera: (i) Comportamiento del microcontrolador, se detalla el consumo que ha tenido este y si es que ha variado en relación a las primeras semanas de instalación por otro lado se analiza la velocidad de respuesta con respecto a la toma y almacenamiento de datos. (ii) Diferencia de medidas en las variables de presión atmosférica, temperatura ambiental, humedad relativa, radiación solar, temperatura superficial del suelo, velocidad y dirección del viento. (iii) Por último se realiza el análisis del costo beneficio de la implementación del prototipo comparándola con otras.

### 4.1. Comportamiento del microcontrolador

Como se detalló anteriormente el microcontrolador usado es el Arduino Mega 2560 Rev. 3, esta ha venido operando desde la instalación del prototipo hasta la redacción del estudio (6 meses aproximadamente) el comportamiento de este se detalla en la tabla 15.

**Tabla 15**

*Comportamiento del microcontrolador Junio – Diciembre*

Época de medición	Consumo de corriente Standby	Consumo de corriente captando	Tiempo de captura de las variables	Tiempo de almacenamiento en archivos .csv	Tiempo de cálculo de promedios, máximas y mínimas.
Junio	50 mA	85 mA	4.763 s	1.75 s	0.8 s
Diciembre	48 mA	91 mA	4.89 s	2.02 s	0.82 s

## 4.2. Prueba de normalidad

Los análisis de normalidad, también llamados contrastes de normalidad, tienen como objetivo analizar cuánto difiere la distribución de los datos observados respecto a lo esperado si procediesen de una distribución normal con la misma media y desviación típica. Pueden diferenciarse tres estrategias: las basadas en representaciones gráficas, en métodos analíticos y en test de hipótesis.

Para el estudio se tomó en cuenta la representación gráfica (histogramas) y como método analítico el test de Kolmogorov-Smirnov (normalidad) ya que se tienen más de 50 datos, esto para cada uno de las variables meteorológicas censadas tanto de la estación prototipo, así como para las estaciones comerciales.

Se plantearon dos hipótesis que  $H_0$  es la hipótesis nula y  $H_a$  es la hipótesis alterna, cuya significancia es la siguiente:

$H_0$ : Los datos tienen una distribución normal

$H_a$ : Los datos no tienen una distribución normal

El criterio de selección de la hipótesis es:

Si  $p < 0.05$  se rechaza la  $H_0$  y se acepta la  $H_a$

Si  $p \geq 0.05$  se acepta la  $H_0$  y se rechaza la  $H_a$

### 4.2.1. Temperatura ambiental

Con ayuda del software SPSS se lleva a cabo la prueba de normalidad dándonos como resultado lo que se muestra en la tabla 16:

**Tabla 16**

*Prueba de normalidad de registros de temperatura ambiental*

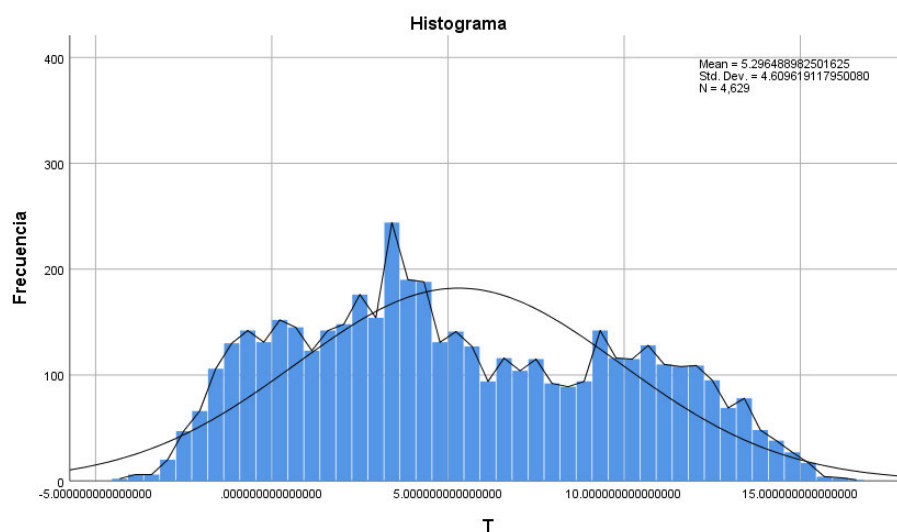
		Estadístico	gl	p
Mediciones Campbell	Estación	.069	4629	.000
Mediciones Prototipo		.067	4629	.000

Utilizando el dato p (significancia) tomamos la decisión y conclusión, como  $p=0 < 0.05$  entonces rechazamos la  $H_0$  y se acepta la  $H_a$ , por lo tanto, los datos no tienen una distribución normal.

Para contrastar esta decisión se utiliza también las gráficas generadas, la Figura 35 muestra un histograma con los datos, en la cual se puede ver que no hay una distribución simétrica de estos por lo que también apoya la hipótesis de que no tienen distribución normal.

**Figura 35**

*Distribución de datos de medidas de temperatura ambiental*



#### 4.2.2. Radiación solar

Con ayuda del software SPSS se lleva a cabo la prueba de normalidad dándonos como resultado lo que se muestra en la tabla 17:

**Tabla 17**

*Prueba de normalidad de registros de radiación solar*

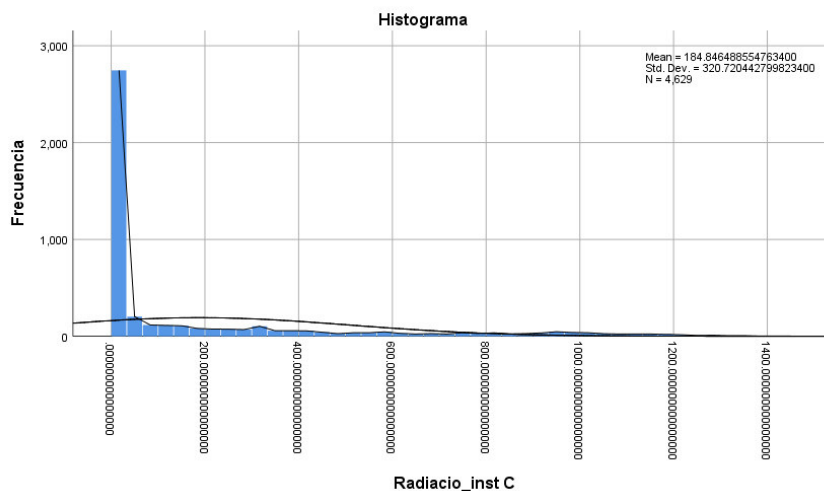
		Estadístico	gl	p
Mediciones Campbell	Estación	.306	4629	.000
Mediciones Prototipo		.305	4629	.000

Utilizando el dato p (significancia) tomamos la decisión y conclusión, como  $p=0 < 0.05$  entonces rechazamos la  $H_0$  y se acepta la  $H_a$ , por lo tanto, los datos no tienen una distribución normal.

Para contrastar esta decisión se utiliza también las gráficas generadas, la Figura 36 muestra un histograma con los datos, en la cual se puede ver que no hay una distribución simétrica de estos por lo que también apoya la hipótesis de que no tienen distribución normal.

**Figura 36**

*Distribución de datos de medidas de radiación solar*



### 4.2.3. Presión atmosférica

Con ayuda del software SPSS se lleva a cabo la prueba de normalidad dándonos como resultado lo que se muestra en la tabla 18:

**Tabla 18**

*Prueba de normalidad de registros de presión atmosférica*

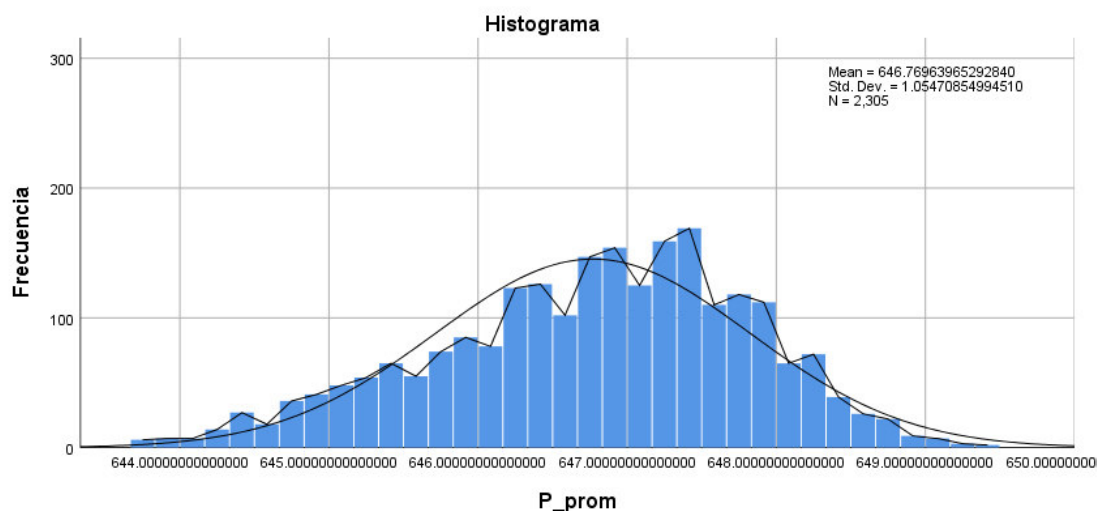
	Estadístico	gl	p
Mediciones Estación Campbell	.053	2305	.000
Mediciones Prototipo	.046	2305	.000

Utilizando el dato p (significancia) tomamos la decisión y conclusión, como  $p=0 < 0.05$  entonces rechazamos la  $H_0$  y se acepta la  $H_a$ , por lo tanto, los datos no tienen una distribución normal.

Para contrastar esta decisión se utiliza también las gráficas generadas, la Figura 37 muestra un histograma con los datos, en la cual se puede ver que si bien hay cierta simetría esta no es total ya que al compararla con la curva de distribución se nota que tiene picos por lo que esto también apoya la hipótesis de que no tienen distribución normal.

**Figura 37**

*Distribución de datos de medidas de presión atmosférica*



#### 4.2.4. Temperatura superficial del suelo

Con ayuda del software SPSS se lleva a cabo la prueba de normalidad dándonos como resultado lo que se muestra en la tabla 19:

**Tabla 19**

*Prueba de normalidad de registros de temperatura superficial del suelo*

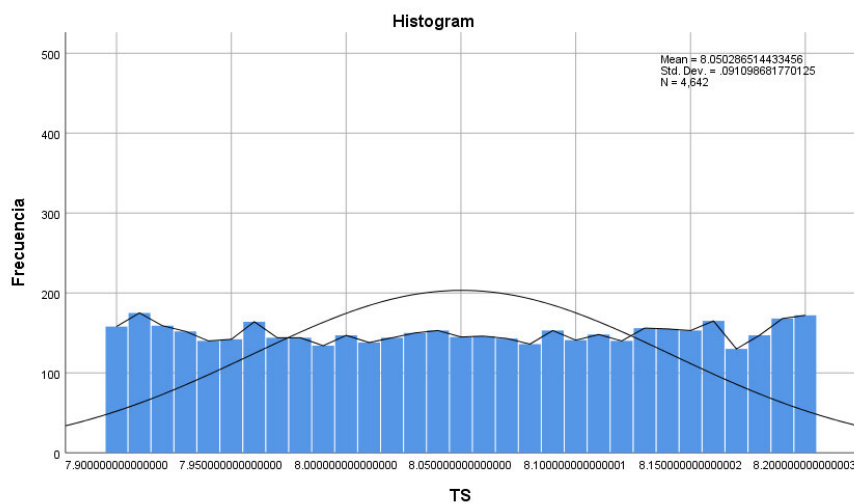
	Estadístico	gl	p
Mediciones Estación Campbell	.078	4642	.000
Mediciones Prototipo	.075	4642	.000

Utilizando el dato p (significancia) tomamos la decisión y conclusión, como  $p=0 < 0.05$  entonces rechazamos la  $H_0$  y se acepta la  $H_a$ , por lo tanto, los datos no tienen una distribución normal.

Para contrastar esta decisión se utiliza también las gráficas generadas, la Figura 38 muestra un histograma con los datos, en la cual se puede ver que no hay una distribución simétrica de estos por lo que también apoya la hipótesis de que no tienen distribución normal.

**Figura 38**

*Distribución de datos de medidas de temperatura del suelo*



#### 4.2.5. Velocidad del viento

Con ayuda del software SPSS se lleva a cabo la prueba de normalidad dándonos como resultado lo que se muestra en la tabla 20:

**Tabla 20**

*Prueba de normalidad de registros de velocidad del viento*

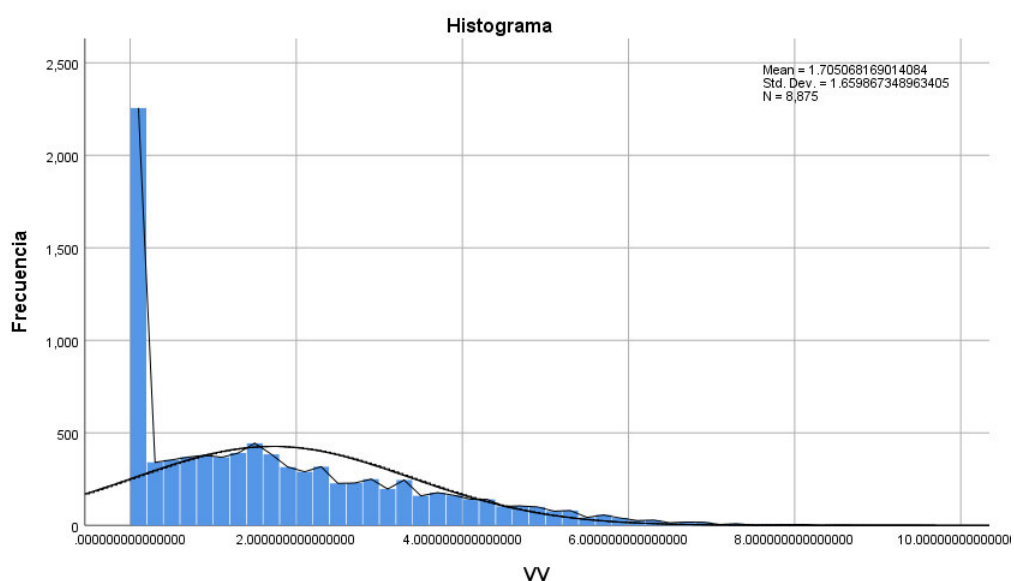
	Estadístico	gl	p
Mediciones Estación Campbell	.152	8875	.000
Mediciones Prototipo	.169	8875	.000

Utilizando el dato p (significancia) tomamos la decisión y conclusión, como  $p=0 < 0.05$  entonces rechazamos la  $H_0$  y se acepta la  $H_a$ , por lo tanto, los datos no tienen una distribución normal.

Para contrastar esta decisión se utiliza también las gráficas generadas, la Figura 39 muestra un histograma con los datos, en la cual se puede ver que no hay una distribución simétrica de estos por lo que también apoya la hipótesis de que no tienen distribución normal.

**Figura 39**

*Distribución de datos de medidas de velocidad de viento*



#### 4.2.6. Dirección del viento

Con ayuda del software SPSS se lleva a cabo la prueba de normalidad dándonos como resultado lo que se muestra en la tabla 21:

**Tabla 21**

*Prueba de normalidad de registros de dirección del viento*

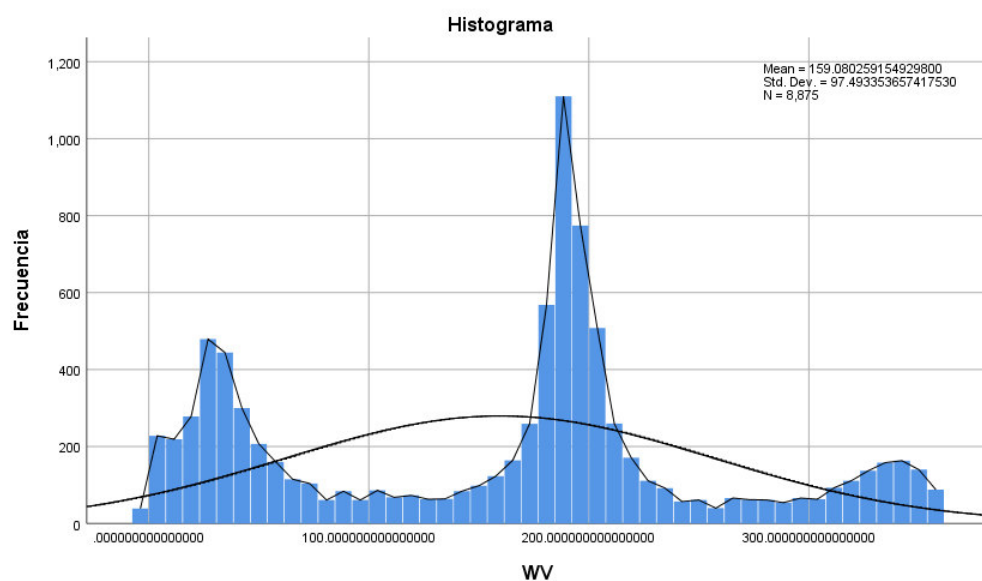
	Estadístico	gl	p
Mediciones Estación Campbell	.139	8875	.000
Mediciones Prototipo	.142	8875	.000

Utilizando el dato p (significancia) tomamos la decisión y conclusión, como  $p=0 < 0.05$  entonces rechazamos la  $H_0$  y se acepta la  $H_a$ , por lo tanto, los datos no tienen una distribución normal.

Para contrastar esta decisión se utiliza también las gráficas generadas, la Figura 40 muestra un histograma con los datos, en la cual se puede ver que no hay una distribución simétrica de estos por lo que también apoya la hipótesis de que no tienen distribución normal.

**Figura 40**

*Distribución de datos de medidas de dirección de viento*



### 4.3. Diferencias estadísticas

En la prueba de normalidad se pudo corroborar que los datos no tienen una distribución normal por lo cual se debe de aplicar una prueba estadística no paramétrica para dos muestras relacionadas, esta debe permitir comprobar si hay diferencias entre estas.

Se seleccionó la prueba o test de Wilcoxon, ya que, al tener cada elemento de una muestra emparejado con un elemento de la otra, el test nos indicara que tantas diferencias hay en general.

Dicho test se ejecutará en todos los registros de las variables meteorológicas, además se plantean dos hipótesis la  $H_0$  que es la hipótesis nula y  $H_a$  que es la hipótesis alterna, cuya significancia es la siguiente:

$H_0$ : Los datos no tienen diferencias estadísticas

$H_a$ : Los datos tienen diferencias estadísticas

El criterio de selección de la hipótesis es:

Si  $p < 0.05$  se rechaza la  $H_0$  y se acepta la  $H_a$

Si  $p \geq 0.05$  se acepta la  $H_0$  y se rechaza la  $H_a$

#### 4.3.1. Presión atmosférica

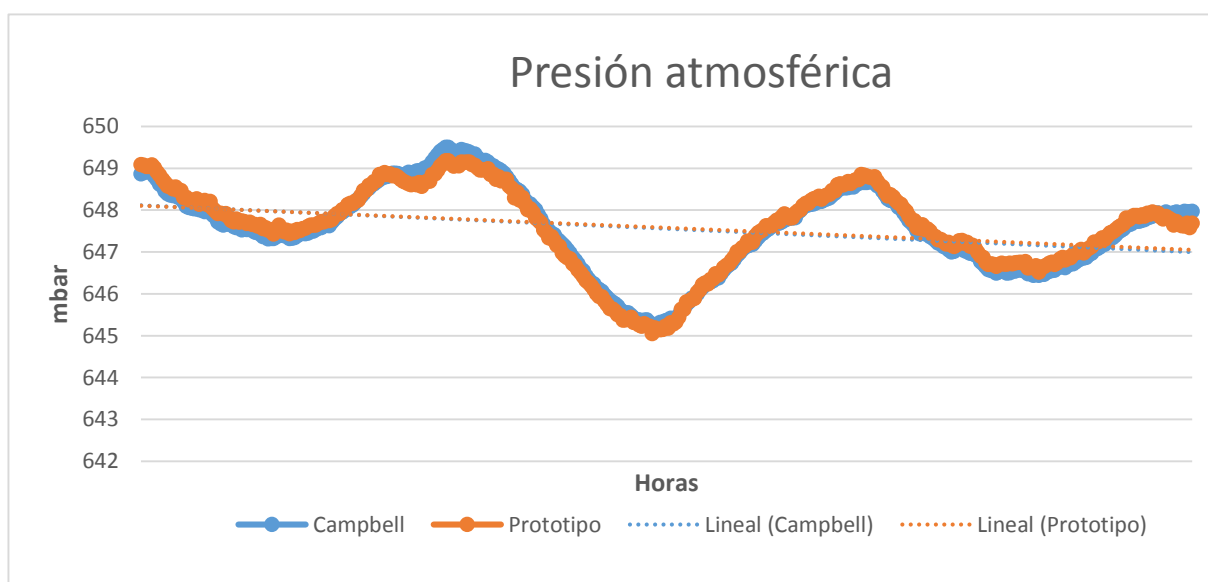
Utilizando el software SPSS se lleva a cabo la prueba dándonos como resultado lo que se muestra en la tabla 22:

**Tabla 22***Prueba de Wilcoxon de registros de presión atmosférica*

Presión promedio Estación prototipo – Estación Campbell		
Z		-.103
Sig. (bilateral)	Asintótica	.918

Utilizando el p valor (Sig. Asintótica) tomamos la decisión y conclusión, como  $p > 0.05$  entonces aceptamos la  $H_0$  y se rechaza la  $H_a$ , por lo tanto, los datos no tienen diferencias estadísticas.

En la Figura 41 muestra una comparación grafica de la comparación de medidas puntuales entre ambas estaciones, como se puede observar existe una alta correlación (0.99) entre ambas medidas, la diferencia promedio entre estas por un periodo de 6 meses es igual 0.14 mili bar.

**Figura 41***Comparación de medidas presión atmosférica*

### 4.3.2. Temperatura ambiental

Utilizando el software SPSS se lleva a cabo la prueba dándonos como resultado lo que se muestra en la tabla 23:

**Tabla 23**

*Prueba de Wilcoxon de registros de temperatura ambiental*

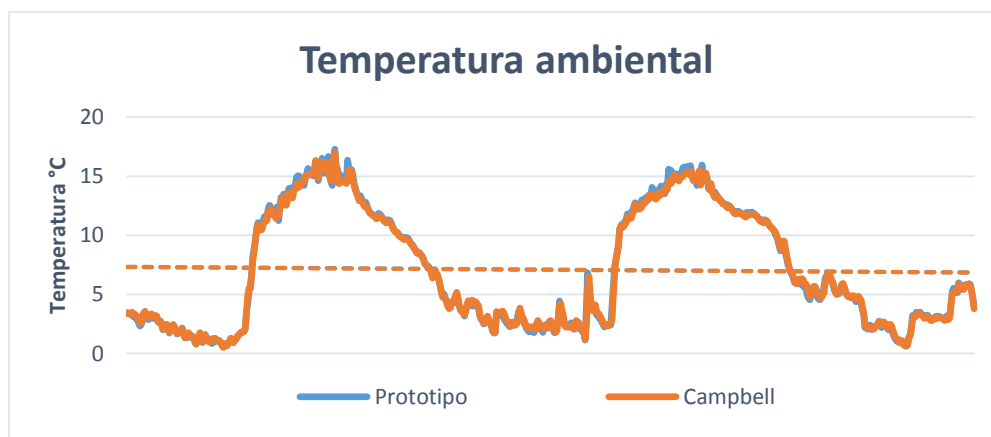
	Temperatura promedio Estación prototipo – Estación Campbell
Z	-.695
Sig. Asintótica (bilateral)	.487

Utilizando el p valor (Sig. Asintótica) tomamos la decisión y conclusión, como  $p > 0.05$  entonces aceptamos la  $H_0$  y se rechaza la  $H_a$ , por lo tanto, los datos no tienen diferencias estadísticas.

En la Figura 42 muestra una comparación grafica de la comparación de medidas puntuales entre ambas estaciones, como se puede observar existe una alta correlación (0.999) entre ambas medidas, la diferencia promedio entre estas por un periodo de 6 meses es igual 0.193 °C.

**Figura 42**

*Comparación de medidas temperatura ambiental*



### 4.3.3. Humedad relativa

Utilizando el software SPSS se lleva a cabo la prueba dándonos como resultado lo que se muestra en la tabla 24:

**Tabla 24**

*Prueba de Wilcoxon de registros de temperatura ambiental*

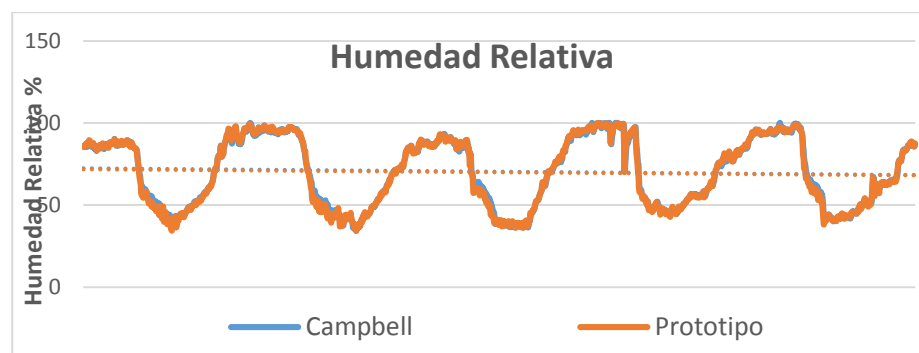
Humedad promedio Estación prototipo – Estación Campbell	
Z	-13.590
Sig. Asintótica (bilateral)	.000

Utilizando el p valor (Sig. Asintótica) tomamos la decisión y conclusión, como  $p < 0.05$  entonces rechazamos la  $H_0$  y se acepta la  $H_a$ , por lo tanto, los datos tienen diferencias estadísticas.

Sin embargo y al igual que los dos registros anteriores, se hizo una comparación grafica en la Figura 43 de las medidas puntuales entre ambas estaciones, y si bien según la prueba de Wilcoxon nos indica que hay diferencias estadísticas, la correlación de aun sigue siendo alta (0.996) y gráficamente se nota que son registros similares los comparados habiendo una diferencia promedio entre estas por un periodo de 6 meses es igual a 1.3%.

**Figura 43**

*Comparación de medidas humedad relativa*



#### 4.3.4. Radiación solar

Utilizando el software SPSS se lleva a cabo la prueba dándonos como resultado lo que se muestra en la tabla 25.

**Tabla 25**

*Prueba de Wilcoxon de registros de temperatura ambiental*

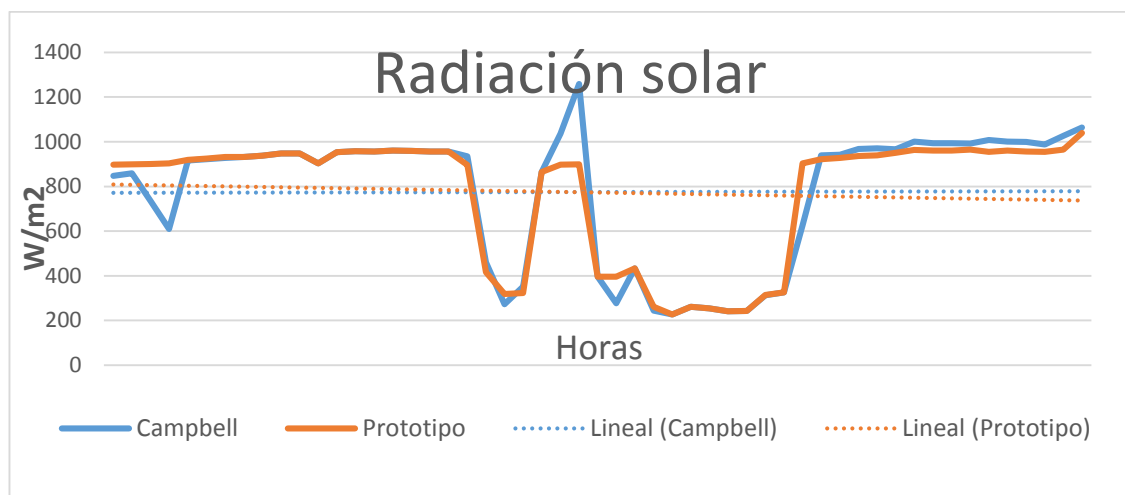
Radiación promedio Estación prototipo – Estación Campbell	
Z	-1.049
Sig. Asintótica (bilateral)	.294

Utilizando el p valor (Sig. Asintótica) tomamos la decisión y conclusión, como  $p > 0.05$  entonces aceptamos la  $H_0$  y se rechaza la  $H_a$ , por lo tanto, los datos no tienen diferencias estadísticas.

En la Figura 44 muestra una comparación grafica de la comparación de medidas puntuales entre ambas estaciones, se observa la correlación de ambas, siendo esta (0.96) la menor a las mostradas en las gráficas anteriores, además la interpolación de medidas muestra un desfase pronunciado especialmente cuando la estación Campbell sobrepasa los 1200 W/m<sup>2</sup>.

**Figura 44**

*Comparación de medidas radiación solar*



Como se puede observar esta variable muestra el mayor desfase hasta el momento, la diferencia promedio porcentual es de 5.8 o de 40.14 W/m<sup>2</sup> entre todos los datos recopilados tomando como referencia el piranómetro de la estación Campbell.

#### 4.3.5. *Temperatura superficial del suelo*

Utilizando el software SPSS se lleva a cabo la prueba dándonos como resultado lo que se muestra en la tabla 26:

**Tabla 26**

*Prueba de Wilcoxon de registros de temperatura ambiental*

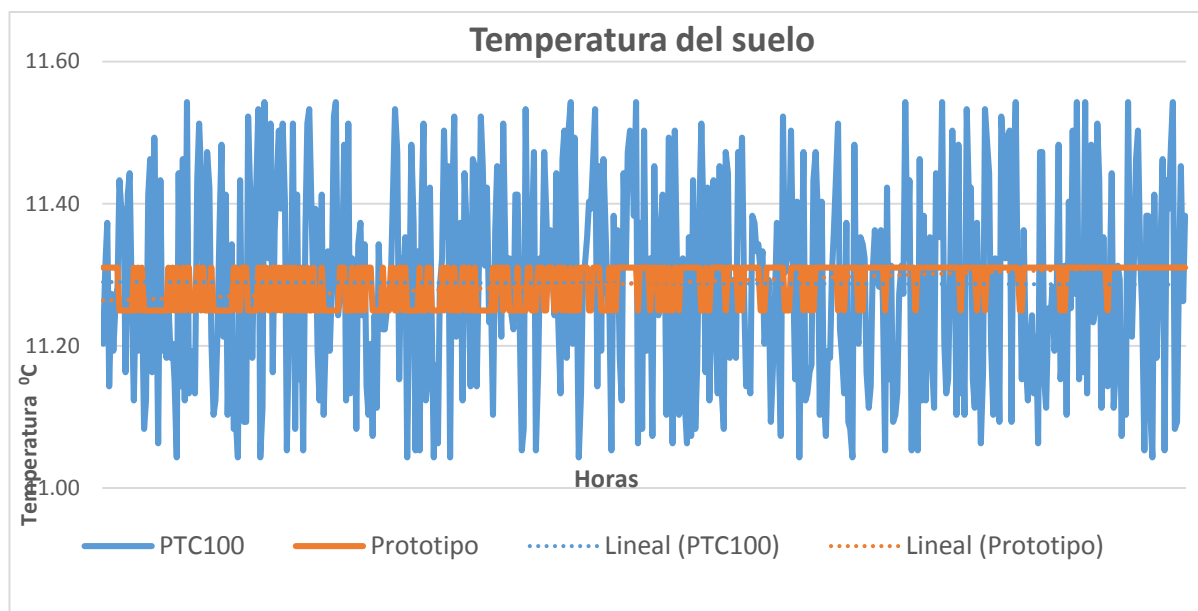
	Suelo promedio Estación prototipo – Estación Campbell
Z	-53.176
Sig. Asintótica (bilateral)	.000

Utilizando el p valor (Sig. Asintótica) tomamos la decisión y conclusión, como  $p < 0.05$  entonces rechazamos la  $H_0$  y se acepta la  $H_a$ , por lo tanto, los datos tienen diferencias estadísticas.

Sin embargo y al igual que los dos registros anteriores, se hizo una comparación grafica en la Figura 45 de las medidas puntuales entre ambas estaciones, y si bien según la prueba de Wilcoxon nos indica que hay diferencias estadísticas, gráficamente se nota que son registros similares los comparados habiendo una diferencia promedio entre estas por un periodo de 6 meses es igual a 0.127 °C. Por otro lado, la correlación varía en demasía ya que el sensor PTC100 varía en la segunda y tercera cifra decimal y la del prototipo (sensor DS18B20) no lo hace a tal medida.

**Figura 45**

*Comparación de medidas temperatura del suelo*



#### 4.3.6. Velocidad del viento

Utilizando el software SPSS se lleva a cabo la prueba dándonos como resultado lo que se muestra en la tabla 27:

**Tabla 27**

*Prueba de Wilcoxon de registros de temperatura ambiental*

	Velocidad promedio Estación prototipo – Estación Campbell
Z	-16.695
Sig. Asintótica (bilateral)	.000

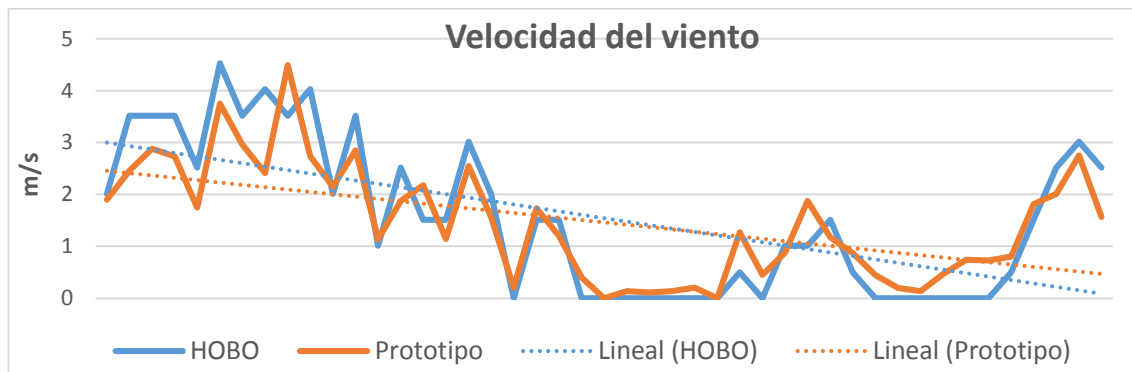
Utilizando el p valor (Sig. Asintótica) tomamos la decisión y conclusión, como  $p < 0.05$  entonces rechazamos la  $H_0$  y se acepta la  $H_a$ , por lo tanto, los datos tienen diferencias estadísticas.

Sim embargo y al igual que los dos registros anteriores, se hizo una comparación grafica en la Figura 46 de las medidas puntuales entre ambas estaciones, y si bien según la prueba de

Wilcoxon nos indica que hay diferencias estadísticas, la correlación aún sigue siendo aceptable (0.93) y gráficamente se nota que son registros similares los comparados habiendo una diferencia promedio entre estas por un periodo de 6 meses es igual a 0.485 m/s.

**Figura 46**

*Comparación de medidas velocidad del viento*



#### 4.3.7. Dirección del viento

Utilizando el software SPSS se lleva a cabo la prueba dándonos como resultado lo que se muestra en la tabla 28:

**Tabla 28**

*Prueba de Wilcoxon de registros de temperatura ambiental*

	Dirección promedio Estación prototipo – Estación Campbell
Z	-.464
Sig. Asintótica (bilateral)	.643

Utilizando el p valor (Sig. Asintótica) tomamos la decisión y conclusión, como  $p > 0.05$  entonces aceptamos la  $H_0$  y se rechaza la  $H_a$ , por lo tanto, los datos no tienen diferencias estadísticas.

En la Figura 47 muestra una comparación grafica de la comparación de medidas puntuales entre ambas estaciones, como se puede observar existe una alta correlación (0.999) entre ambas medidas, la diferencia promedio entre estas por un periodo de 6 meses es igual 1.33 grados.

**Figura 47**

*Comparación de medidas dirección del viento*



#### 4.4. Costo beneficio

Al analizar el costo beneficio de la implementación del prototipo en comparación con una estación de una marca reconocida, se compara el costo final de ambas para tener una idea del ahorro monetario que significaría. En la tabla 29, el costo total de prototipo, desglosando elemento por elemento.

Tabla 29

*Costo del prototipo de estación meteorológica*

ITEM	DETALLE	U.M.	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
1.1.1	Microcontrolador Arduino Mega 2560	Und.	1	S/. 70.00	S/. 70.00
1.1.2	Modulo acoplador de microcontrolador y demás componentes.	Und.	1	S/. 200.00	S/. 200.00
1.1.3	Sensor de presión atmosférica BMP180	Und.	1	S/. 20.00	S/. 20.00
1.1.4	Sensor AM2315 de temperatura y humedad relativa.	Und.	1	S/. 200.00	S/. 200.00
1.1.5	Abrigo meteorológico para el sensor AM2315	Und.	1	S/. 100.00	S/. 100.00
1.1.6	Anemómetro con veleta de dirección de viento	Und.	1	S/. 750.00	S/. 750.00
1.1.7	Sensor de corriente ACS712T	Und.	1	S/. 20.00	S/. 20.00
1.1.8	Módulo Shield Datalogger (memoria SD y RTC)	Und.	1	S/. 35.00	S/. 35.00
1.1.9	Memoria SD 16 GB	Und.	1	S/. 25.00	S/. 25.00
1.1.10	Sensor de temperatura DSB18B20	Und.	3	S/. 15.00	S/. 45.00
1.1.11	Trípode o mástil de sujeción con accesorios	Und.	1	S/. 600.00	S/. 600.00
1.1.12	Sistema fotovoltaico	Und.	1	S/. 400.00	S/. 400.00
1.1.13	Gabinete de poliéster IP 66 40x30x15	Und.	1	S/. 400.00	S/. 400.00
1.1.14	Insumos	Und.	1	S/. 200.00	S/. 200.00
<b>COSTO TOTAL</b>					<b>S/. 3,065.00</b>

Comparando con dos estaciones de marca reconocida y alta precisión, tenemos una diferencia aproximada de cinco o hasta dieciocho veces menos tomando como base el precio del prototipo, en la tabla 30 se muestra esto.

**Tabla 30***Costos de estaciones*

Marca	Costo	Especificaciones
HOBO	S/. 15,500.00	Modelo: Hobo U-30 Sensor de temperatura y humedad Sensor de velocidad de viento Sensor de dirección de viento Sensor de temperatura de suelo (3) Trípode y accesorios de instalación
Campbell Scientific	S/. 55,000.00	Registrador de datos: CR1000X Sensor de temperatura y humedad Sensor de dirección y velocidad del viento Sensor de temperatura de suelo Sensor de presión Sensor de radiación Trípode y accesorios de instalación

## V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Tomando como referencia la guía de la OMM número 8 (OMM, 2014) y considerando la calidad de los instrumentos de medición de la estación Campbell (precisión científica) además del test estadístico que se llevó a cabo para buscar diferencias entre las mediciones.

La guía nos entrega el error máximo que deben entregar los instrumentos de medición para que los datos generados por estos sean válidos para la OMM. En la tabla 31, se muestra las exigencias en cuanto al error máximo permitido.

**Tabla 31**

*Precisión en medidas según la OMM*

<b>Variable</b>	<b>Rango</b>	<b>Resolución</b>	<b>Precisión</b>
<b>Presión atmosférica</b>	5000 – 10800 Pa	10 – 15 Pa (0.1 – 0.15 mbar)	10 – 15 Pa (0.1 – 0.15 mbar)
<b>Temperatura de ambiente</b>	-80 - +60 °C	0.1 °C	0.1 – 0.2 °C
<b>Temperatura del suelo</b>	-50 - +50 °C	0.1 °C	0.1 – 0.2 °C
<b>Humedad relativa</b>	0 – 100 %	1%	1 – 2 %
<b>Radiación solar</b>	-	1-10 W/m <sup>2</sup>	5%

<b>Velocidad del viento</b>	0 – 75 m/s	0.5 m/s	0.5 m/s ≤ 5 m/s
			10% > 5 m/s
<b>Dirección del viento</b>	0 – 360 <sup>0</sup>	1 <sup>0</sup>	5 <sup>0</sup>

De aquí se puede validar o descartar los instrumentos utilizados, analizando variable por variable se puede notar que todas entran dentro del rango de error, esto cuando realizamos un análisis simple de diferencias entre las mediciones, sin embargo, al realizar el test estadístico (prueba de Wilcoxon) se encuentran diferencias entre las mediciones del prototipo y las estaciones comparadas en algunos parámetros, en la tabla 32 se puede observar el resultado de cada uno de estos.

**Tabla 32**

*Comparación de error encontrado y permitido*

	<b>Error encontrado</b>	<b>Error según OMM</b>	<b>Validación</b>	<b>Test estadístico</b>
<b>Presión atmosférica</b>	0.14 mbar	0.1 – 0.15 mbar	Si	Sin diferencias
<b>Temperatura ambiental</b>	0.193 °C	0.1 – 0.2 °C	Si	Sin diferencias
<b>Humedad relativa</b>	1.3 %	1 – 2 %	Si	Con diferencias
<b>Radiación solar</b>	4.8%	5%	Si	Sin diferencias

<b>Temperatura del suelo</b>	0.127 °C	0.1 – 0.2 °C	Si	Con diferencias
<b>Velocidad del viento</b>	0.485 m/s.	0.5 m/s	Si	Con diferencias
<b>Dirección del viento</b>	1.33 °	5°	Si	Sin diferencias

Se puede observar que en la comparación simple que pone como referencia a las mediciones de los instrumentos certificados de las estaciones (Campbell y Hobo) como el valor casi cercano a lo que existe en el ambiente dadas sus especificaciones, todas las mediciones que se han registrado con el prototipo cumplen con el estándar que pide la OMM al realizar la comparación la diferencia promedio encontrado está dentro del rango de error por lo que se podrían validar los sensores usados para llevar a cabo las mediciones.

Sin embargo, cuando se llevó a cabo el test estadístico no paramétrico de Wilcoxon que se usa para muestras relacionadas, mediante contrastes se permite comprobar si hay diferencias entre las distribuciones de dos poblaciones, es decir, sabiendo que cada elemento de una muestra está emparejado con un elemento de la otra, se identifica si los componentes de cada pareja se parezcan entre sí lo más posible, dicho test arroja que no hay diferencias entre las mediciones de temperatura ambiental, presión atmosférica, radiación solar y dirección del viento. Por otro lado, el mismo test arroja que existen diferencias en las mediciones de velocidad del viento, humedad relativa y temperatura del suelo, teniendo en cuenta esto podríamos decir que se podría validar solo las mediciones de temperatura ambiental, presión atmosférica, radiación solar y dirección del viento.

Ahondando en esto último podríamos decir que si bien 3 mediciones arrojan diferencias estadísticas según el test, cabe resaltar por ejemplo que el rango del error permisible es diferente

para temperatura ambiental y humedad relativa, mientras en el primero el error máximo es de 0.2 °C (unidades de medida) y en el segundo es mucho más amplio 2% (unidades de medida), de esto podríamos inferir existe una mayor diferenciación en esta medición por lo que el test estadístico lo toma con diferencias además la diferencia promedio encontrada en el caso de la temperatura es 0.193 unidades mientras que en humedad fue casi 6 veces más 1.3 unidades.

De igual manera para las mediciones de velocidad de viento ya que el promedio de diferencias es de 0.485 unidades lo que equivale al doble en comparación con la de las mediciones de temperatura ambiental, por el que el test al tener un nivel de confianza muy alto lo consideran con diferencias.

Por otro lado, analizando el comportamiento del microcontrolador se puede destacar que su consumo casi no ha variado, así como el tiempo de operación del mismo teniendo ligeras elevaciones en estas, lo que puede augurar un funcionamiento de este perdurable a largo plazo.

Contrastando resultados con estudios similares y descritos en los antecedentes, se puede asegurar que se consiguió una herramienta mucho más completa (en términos de variables medidas) y precisa que estas en la mayoría de resultados encontrados, además de considerar la cantidad de datos comparados en el presente estudio (más de tres meses en la mayoría de variables) en comparación con los estudios previos. En la tabla 33, se muestra una comparativa de estas.

### **Tabla 33**

*Comparación con otros estudios*

<b>Kusriyanto y Anggara (2018)</b>	<b>Morón et al. (2018)</b>	<b>Netto et al. (2019)</b>	<b>Prototipo</b>
------------------------------------	----------------------------	----------------------------	------------------

<b>Presión atmosférica</b>	0.95 (Coeficiente de correlación)	0.297 (Coeficiente de correlación)	0.9965 (Coeficiente de correlación)	0.99 (Coeficiente de correlación)
<b>Temperatura ambiental</b>	0.98 (Coeficiente de correlación)	0.99 (Coeficiente de correlación)	0.9706 (Coeficiente de correlación)	0.999 (Coeficiente de correlación)
<b>Humedad relativa</b>	0.99 (Coeficiente de correlación)	0.97 (Coeficiente de correlación)	0.8929 (Coeficiente de correlación)	0.996 (Coeficiente de correlación)
<b>Radiación solar</b>	-	-	0.5793 (Coeficiente de correlación)	0.96 (Coeficiente de correlación)
<b>Temperatura del suelo</b>	-	-	0.9706 (Coeficiente de correlación)	-
<b>Velocidad del viento</b>	-	0.99 (Coeficiente de correlación)	0.8546 (Coeficiente de correlación)	0.93 (Coeficiente de correlación)
<b>Dirección del viento</b>	-	-	0.0665 (Coeficiente de correlación)	0.9999 (Coeficiente de correlación)

Enfatizando en la forma de medición de la radiación, este estudio trato de comparar el modelo creado por Villanueva (2014) en zonas de alta montaña, quien se basa en una relación voltaje-radiación. Sin embargo, debido a la ubicación de su estudio (Pontificia Universidad Católica del Perú – PUCP a menos de 100 m s.n.m aproximadamente) la máxima medición que encontró fue de casi  $600 \text{ W/m}^2$ , a diferencia de las mediciones encontradas que superan ese valor y el de los  $1000 \text{ W/m}^2$  en donde se puede aseverar que este tipo de sistema llega a su límite.

Sin embargo, Núñez (2018), ahonda más en este tipo de medición y propone un modelo célula fotovoltaica-piranómetro en donde aparte de correlacionar irradiación y corriente añade

otros factores como temperatura y el ángulo de incidencia para poder superar el inconveniente descrito en el párrafo anterior.

## VI. CONCLUSIONES

- ❖ El estudio ha sido enriquecedor para todos aquellos involucrados en el, especialmente para el autor habiendo aplicado conocimientos técnicos y teóricos en el desarrollo del estudio. Se puede afirmar también que se abre una ruta de solución hacia un problema muy presente para la comunidad científica al momento de realizar una investigación en zonas de alta montaña, la de la falta de datos meteorológicos en campo.
- ❖ Partiendo del objetivo principal que es desarrollar un prototipo de estación meteorológica de bajo costo para factores climáticos de zonas de alta montaña y validar sus registros, se pudo llevar a cabo el diseño, ensamblaje e instalación del equipo en dos zonas de alta montaña al lado de una estación meteorológica de precisión científica marca Campbell Scientific y Hobo, llevando a cabo comparaciones de las mediciones mediante pruebas estadísticas y validando y descartando los instrumentos de medición de acuerdo a los resultados de las pruebas.
- ❖ En el diseño del prototipo de estación meteorológica, se tomaron en cuenta el ambiente de implementación, las fuentes de energía, las regulaciones de la OMM, el código de programación y las variables meteorológicas a registrar (temperatura ambiental, humedad relativa, presión atmosférica, radiación solar, temperatura del suelo, dirección y velocidad del viento), después una selección de materiales en base a la memoria técnica disponible de los componentes elegidos o el interés de probar su comportamiento en zonas de alta montaña. Se utiliza un case (tarjeta PCB diseñada) para acoplar principalmente al microcontrolador y demás componentes o módulos necesarios, el ensamblaje e instalación se llevó a cabo en dos zonas de alta montaña respetando los estándares que indica la OMM.
- ❖ Por otro lado, y ajustándonos al segundo objetivo secundario se realizó la toma y recolección de datos meteorológicos generados por la estación prototipo y los de la

estación Campbell en la Quebrada de Quilcayhuanca para poder llevar a cabo pruebas estadísticas y determinar si existen diferencias estadísticas entre estas. La comparación de medidas arroja una muy buena correlación en todas las variables comparadas entre ambas estaciones, se puede indicar que hay una diferencia promedio de 0.14 mbar entre ambas medidas, la de temperatura ambiental nos entrega 0.193 °C, la de humedad relativa 1.3%, la de temperatura superficial del suelo igual a 0.127 °C y la de radiación solar en 4.62%.

- ❖ Para determinar si existen diferencias estadísticas se procedió a evaluar los datos con el test no paramétrica de Wilcoxon, se pudo corroborar que las mediciones del prototipo de las variables meteorológicas de presión atmosférica, temperatura ambiental, radiación solar no presentan diferencias estadísticas con las mediciones de la estación Campbell, sin embargo, las mediciones de humedad relativa y temperatura del suelo si presentan diferencias estadísticas al ser comparadas.
- ❖ Similarmente para el tercer objetivo secundario se realizó la toma y recolección de datos meteorológicos generados por la estación prototipo y los de la estación HOBO en el glaciar de roca San Felix-Castilla-Arequipa para poder llevar a cabo pruebas estadísticas y determinar si existen diferencias estadísticas entre estas, se puede indicar que hay una diferencia promedio en velocidad del viento de 0.485 m/s y en dirección del viento de 1.33. Con las pruebas de Wilcoxon para ambas mediciones se puede determinar que en dirección del viento no existen diferencias estadísticas mientras que velocidad de viento si las hay.
- ❖ Analizando el costo beneficio de la implementación de la estación prototipo en comparación con las estaciones de reconocida marca se puede concluir que el costo del prototipo es equivalente al 20 o solo el 6 por ciento (en el mejor de los casos) comparado con las marcas consultadas en el estudio.

- ❖ De todo lo anterior se puede concluir y atendiendo al último objetivo específico que es factible tanto económica como técnicamente la implementación del prototipo de estación meteorológica en zonas de alta montaña sin perder la eficiencia en las medidas de los sensores y siendo muy beneficiosa en términos económicos comparadas con otras estaciones de reconocida marca y de precisión.

## VII. RECOMENDACIONES

- ❖ De lo realizado en este trabajo de investigación se tienen las siguientes recomendaciones para todos aquellos interesados en esta línea de investigación:
- ❖ Instalar el prototipo a una altura superior a los 5100 m s.n.m. con el fin de realizar un estudio similar al realizado y verificar si el registro de las mediciones mantiene las mismas diferencias cuando se hacen comparaciones con una estación estándar certificada, dado que a mayor altitud los componentes eléctricos y electrónicos tienden a perder eficiencia, a la par que el prototipo estará expuestos a factores climáticos más adversos con lo que se podrá corroborar si los componentes tanto mecánicos como electrónicos soportan dichas condiciones climáticas o se ven afectadas por estas.
- ❖ Al tener el sistema de medición de radiación solar tiene una limitante ya que solo puede registrar datos hasta los  $1200 \text{ W/m}^2$ , se debe de buscar una alternativa a esto que pueda superar dicha limitante además de que sus mediciones no presenten diferencias estadísticas si son comparadas con un instrumento certificado.
- ❖ Si bien se tuvo unas mediciones muy parecidas cuando se realizó la prueba estadística se encontró que existen diferencias en las mediciones de temperatura de suelo, velocidad de viento y humedad relativa por lo que sería interesante probar otros sensores o instrumentos y corroborar si es que se siguen presentado diferencias estadísticas o no.
- ❖ Dado el tiempo de estudio se pudo tener un tamaño de muestra (datos recolectados y comparados) de seis meses por lo que para conocer mejor el comportamiento de todos los componentes del prototipo se debe de ampliar esta muestra a nueve o doce meses y en especial notar si las diferencias estadísticas de los registros siguen siendo iguales o es que empiezan a mostrar diferencias significativas cuando se hacen las pruebas de comparación.

## VIII. REFERENCIAS

- Arduino. (05 de febrero de 2018). *What is Arduino?* [¿Qué es Arduino?].  
<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction#>
- Arduino. (19 de abril de 2019). *Compare board specs* [Comparaciones de especificaciones de tarjetas]. <https://www.arduino.cc/en/Products/Compare>
- Brock, F., y Richardson, S. (2001). *Meteorological Measurement Systems* [Sistemas de mediciones meteorológicas]. Oxford University Press, Inc.
- Cabello, J. y Castro, A. J. (16 de setiembre de 2012). *Estado y tendencia de los servicios de los ecosistemas de Alta Montaña de Andalucía*. Junta de Andalucía.  
[https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal\\_web/web/temas\\_ambientales/biodiversidad/capital\\_natural/resultados/ema\\_informe\\_alta\\_montana.pdf](https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal_web/web/temas_ambientales/biodiversidad/capital_natural/resultados/ema_informe_alta_montana.pdf)
- Departamento de Ciencias de la Atmósfera del Instituto de Física. Facultad de Ciencias de la Universidad de la República (18 de noviembre de 2014). *Climatología*.  
<http://meteo.fisica.edu.uy/Materias/climatologia/practico%20climatologia%202012/Practico%201/notas.pdf>
- Drotth, A., y Soded, A. (2016). *Using Open Source for Rapid Prototyping of Proprietary Systems* [Uso de Fuente abierta para un prototipado rápido de sistemas patentados] [Tesis de pregrado]. Malmö University.
- Duraiappah, A. K., Naeem, S., Agardy, T., Ash, N. J., Cooper, H. D. y Díaz, S. (2005). *Biodiversity. In Ecosystems and Human Wellbeing: Current State and Trends* [Biodiversidad. En ecosistemas y bienestar humano: estado actual y tendencias]. Island Press.

- Durković, J., Vuković, V., y Raković, L. (2008). Open Source Approach in Software Development - Advantages and Disadvantages. [Enfoque de código abierto en el desarrollo de software: ventajas y desventajas]. *Management Information Systems*, 3(2), 29–033. [https://www.ef.uns.ac.rs/mis/archive-pdf/2008%20-%20No2/MIS2008\\_2\\_5.pdf](https://www.ef.uns.ac.rs/mis/archive-pdf/2008%20-%20No2/MIS2008_2_5.pdf)
- Floyd, T. (2008). *Fundamentos de sistemas digitales*. Gráficas Rogar, S. A.
- Gale a Cengage Company. (28 de junio de 2015). "Prototype" [Prototipo]. [https://link.gale.com/apps/doc/ENKDZQ347975681/SCIC?u=dclib\\_main&sid=SCIC&xid=0c8f739d](https://link.gale.com/apps/doc/ENKDZQ347975681/SCIC?u=dclib_main&sid=SCIC&xid=0c8f739d).
- García, E. (2001). *Automatización de procesos industriales*. Alfaomega.
- Gobierno Regional de Ayacucho (14 de julio de 2012). *Desarrollo de capacidades en zonificación ecológica económica y ordenamiento territorial (Informe Temático sobre Climatología)*. Geo servidor MINAM. [http://geoservidorperu.minam.gob.pe/geoservidor/Archivos/Mapa/Ayacucho/Memoria\\_Descriptiva\\_Clima.pdf](http://geoservidorperu.minam.gob.pe/geoservidor/Archivos/Mapa/Ayacucho/Memoria_Descriptiva_Clima.pdf)
- Kusriyanto, M., y Anggara, A. (23 y 24 de octubre de 2018). Weather Station Design Using IoT Platform Based On Arduino Mega [Artículo] [Diseño de estaciones meteorológicas utilizando una plataforma IoT basada en Arduino Mega]. *Simposio Internacional de Electrónica y Dispositivos Inteligentes 2018, Bandung, Indonesia: IEEE*. <https://doi.org/10.1109/ISESD.2018.8605456>
- Mandado Pérez, E., Marcos Acevedo, J., Fernández Silva, C., y Armesto Quiroga, J. I. (2009). *Autómatas programables y sistemas de automatización*. Marcombo Ediciones Técnicas.

- Microchip. (10 de abril de 2019). *Applications* [Aplicaciones].  
<https://www.microchip.com/technology/>
- Morón, C., Pablo, J., Ferrández, D., y Saiz, P. (2018). Design, Development and Implementation of a Weather Station Prototype for Renewable Energy Systems [Diseño, Desarrollo e Implementación de un Prototipo de Estación Meteorológica para Sistemas de Energía Renovable]. *Energies*, 11(9), 22-34.  
<https://doi.org/10.3390/en11092234>
- Netto, G. T., y Arigony-Neto, J. (2019). Open-source Automatic Weather Station and Electronic Ablation Station for measuring the impacts of climate change on glaciers [Estación meteorológica automática de código abierto y estación de ablación electrónica para medir los impactos del cambio climático en los glaciares]. *HardwareX*, 5(1), 00-53. <https://doi.org/10.1016/j.ohx.2019.e00053>
- Núñez Ortega, E. (2018). *Modelo para relacionar la radiación solar medida con célula fotovoltaica-piranómetro*. [Tesis de postgrado]. Universidad de Sevilla.
- Oxer, J., y Blemings, H. (2011). *Practical Arduino: Cool Projects for Open Source Hardware* [Arduino práctico: proyectos geniales para hardware de código abierto]. Apress.
- Organización Meteorológica Mundial (2001). *Directivas de Orientación: La Enseñanza y Formación Profesional del personal en Meteorología e Hidrología OPERATIVA*.  
<http://www.ideam.gov.co/documents/290086/75945771/Documento+OMM+258+Vol+I/9449f806-2438-4602-bcd0-940e2334621f>
- Organización Meteorológica Mundial (2011). *Guía de prácticas climatológicas*.  
[http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/ccl/guide/documents/wmo\\_100\\_es.pdf](http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/ccl/guide/documents/wmo_100_es.pdf)

- Organización Meteorológica Mundial (2014). *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation, I & II (8)* [Guía de instrumentos y métodos de observación meteorológicos, I y II]. [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=4147](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4147)
- Organización Meteorológica Mundial (2017). *Manual del Sistema Mundial de Observación. Volumen I*. [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=5440](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=5440)
- PCE Ibérica (14 de junio de 2014). *¿Qué es una estación meteorológica?*. <https://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/que-estacion-meteorologica.htm>
- Rabbitcreek. (18 de febrero de 2019). *Alaska Datalogger* [Registrador Alaska]. Instructables. <https://www.instructables.com/id/Alaska-Datalogger/>
- Rodríguez, R., Benito, Á., y Portela, A. (2004). *Meteorología y Climatología*. Villena Artes Gráficas.
- Ruiz, R., Morales, A., y Hernández, N. (2018). *Construcción social de una cultura digital educativa*. SOMECE.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (2013). *Protocolo para la Instalación y Operación de Estaciones Meteorológicas, Agrometeorológicas e Hidrológicas*. <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/00701SENA-421.pdf>
- Smith, J. (04 de enero de 2018). *Mountain ecosystem* [Ecosistemas de montaña]. Encyclopædia Britannica, Inc. <https://www.britannica.com/science/mountain-ecosystem>
- The Computer Language Company Inc (14 de mayo de 2016). *Definition: prototyping* [Definición: Prototipos] <https://www.computerlanguage.com/results.php?definition=prototyping>

- THOMAS. (22 de abril de 2019). *General Prototype Categories* [Categorías generales de prototipos]. <https://www.thomasnet.com/articles/engineering-consulting/general-prototypes/>
- Torrente, Ó. (2013). *Arduino: curso práctico de formación*. Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.
- Trevennor, A. (2012). *Practical AVR Microcontrollers: Games, Gadgets, and Home Automation with the Microcontroller Used in the Arduino* [Prácticos microcontroladores AVR: juegos, dispositivos y automatización del hogar con el microcontrolador utilizado en Arduino]. Apress.
- Villanueva Blas, L. M. (2014). *Diseño e implementación de un equipo de metrología para el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos y eólicos*. [Tesis de pregrado]. Pontificia Universidad Católica del Perú.

## **IX. ANEXOS**

### **9.1 Anexos A**

Como se explicó en la sección de metodología (selección de materiales), donde se especificó los sensores, el controlador y demás módulos electrónicos sin embargo no se mencionan a los componentes del sistema fotovoltaico esto debido a que el objetivo del estudio es la constatación de la precisión de los instrumentos de control y censado de la estación dejando de lado el comportamiento de los demás salvo la corriente del panel solar que se usa con otros fines.

En este anexo se muestra las especificaciones de los componentes del sistema fotovoltaico usados en la estación meteorológica.

## Controlador



### Technical Data

Model	CM20D		
Rated current	10A12V24V	20A12V24V	30A12V24V
Rated voltage	12V/24V Automatic Identification		
Voltage of solar panel	≤50V		
Floating charge	13.8V/27.6V		
Under-voltage protection	10.7V/21.4V		
Under-voltage recovery	12.6V/25.2V		
Boost voltage	b01 Sealed 14.4V/28.8V	(Duration : 2hours)	
	b02 Gel14.2V/28.4V		
	b03 Flooded 14.6V/29.2V		
Open circuit losses	≤13mA		
Charge and discharge voltage drop	<0.2V <0.1V		
Charging mode	PWM mode		
Temperature compensation	-4mV/Cell/°C (to be customized)		
Specification of the cables	≤5# AWG (6mm <sup>2</sup> )		
Working temperature	-20°C~60°C		
Storage temperature	-30°C~70°C		
Temperature requested	≤90%,No condensation		
Dimension	88 mm×160 mm×37 mm		
diameter of mounting hole	64 mm×150 mm --Φ5		
Weight	230g		

# Batería



## RT12120 (12V12Ah)

RT series is a general purpose battery with 5 years design life in float service . It meets with IEC and JIS standards .With up-dated AGM valve regulated technology and high purity raw materials, the RT series battery has reliable standby service life. It is suitable for UPS/EPS, medical equipment, emergency light and security systems applications.

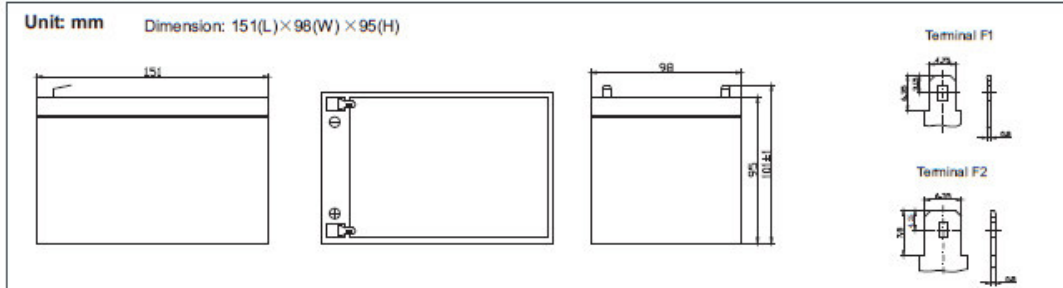


### Specification

Cells Per Unit	6
Voltage Per Unit	12
Capacity	12Ah@20hr-rate to 1.75V per cell @25°C
Weight	Approx. 3.6 Kg(Tolerance ± 4%)
Max. Discharge Current	120 A (5 sec)
Internal Resistance	Approx. 16.5 mΩ
Operating Temperature Range	Discharge: -20°C~60°C Charge: 0°C~50°C Storage: -20°C~60°C
Normal Operating Temperature Range	25°C±5°C
Float charging Voltage	13.7 to 13.9 VDC/unit Average at 25°C
Recommended Maximum Charging Current	3.6 A
Equalization and Cycle Service	14.6 to 14.8 VDC/unit Average at 25°C
Self Discharge	RITAR Valve Regulated Lead Acid (VRLA) batteries can be stored for more than 6 months at 25°C. Self-discharge ratio less than 3% per month at 25°C. Please charge batteries before using.
Terminal	Faston Tab 187(F1)/Faston tab 250(F2)
Constainer Material	A.B.S. UL94-HB, UL94-V0 Optional.



### Dimensions



### Constant Current Discharge Characteristics : A(25°C)

F.V/Time	5MIN	10MIN	15MIN	30MIN	1HR	2HR	3HR	4HR	5HR	8HR	10HR	20HR
9.60V	47.33	31.03	23.11	12.30	7.799	4.483	3.143	2.560	2.104	1.386	1.200	0.642
10.0V	45.62	30.26	22.37	12.15	7.695	4.392	3.084	2.523	2.085	1.380	1.187	0.637
10.2V	42.94	28.76	21.75	11.96	7.622	4.346	3.057	2.498	2.071	1.368	1.169	0.619
10.5V	38.60	26.89	20.51	11.63	7.529	4.289	3.030	2.461	2.054	1.355	1.163	0.606
10.8V	34.58	25.08	19.36	11.25	7.424	4.254	2.995	2.377	2.044	1.350	1.144	0.582
11.1V	30.26	22.99	17.86	10.82	7.248	4.170	2.936	2.343	2.035	1.339	1.126	0.572

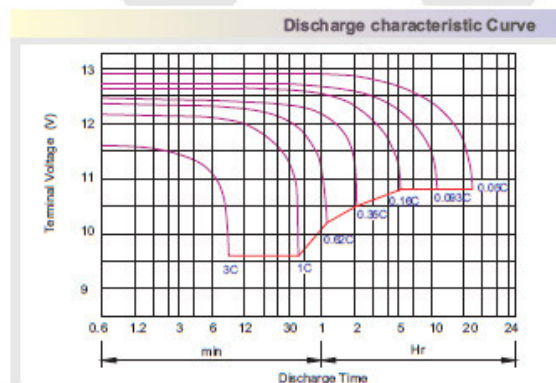
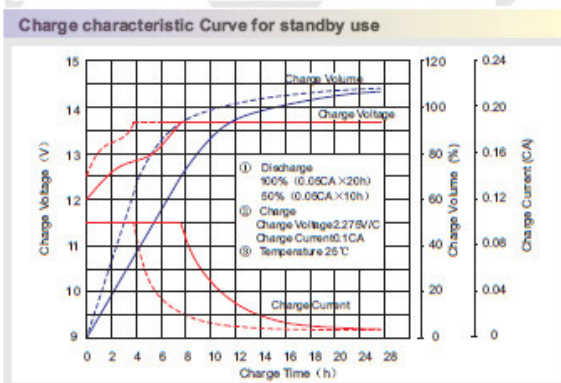
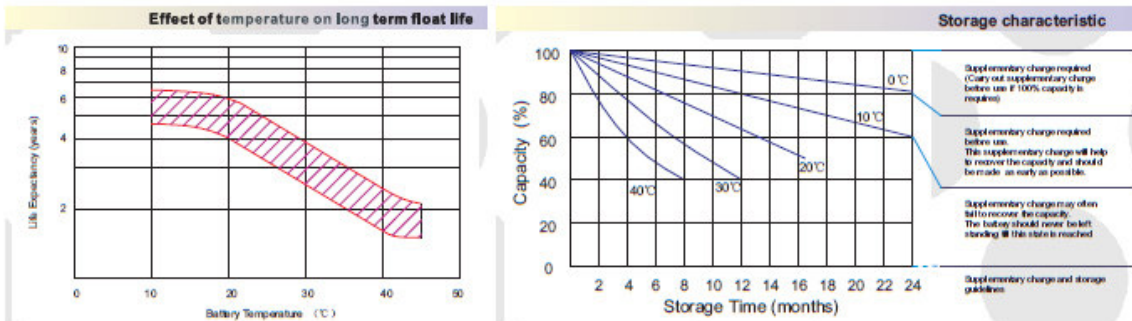
### Constant Power Discharge Characteristics : W(25°C)

F.V/Time	5MIN	10MIN	15MIN	30MIN	1HR	2HR	3HR	4HR	5HR	8HR	10HR	20HR
9.60V	513.3	340.3	255.0	140.8	93.23	52.83	37.57	30.64	25.20	16.59	14.37	7.705
10.0V	500.0	333.2	251.4	139.4	91.87	52.13	36.96	30.21	24.97	16.53	14.24	7.642
10.2V	475.5	320.0	248.1	138.2	91.19	51.67	36.64	29.92	24.82	16.40	14.05	7.446
10.5V	434.0	306.8	235.1	135.3	89.96	51.12	36.37	29.52	24.62	16.26	13.95	7.320
10.8V	391.6	287.0	222.2	132.1	88.79	50.75	35.95	28.52	24.51	16.19	13.74	7.026
11.1V	345.3	267.2	209.2	128.5	86.84	50.02	35.25	28.11	24.42	16.08	13.54	6.915

All mentioned values are average values (Tolerance ±2%).

# RT12120

12V12Ah



### Capacity Factors With Different Temperature

Battery Type		-20°C	-10°C	0°C	5°C	10°C	20°C	25°C	30°C	40°C	45°C
GEL Battery	6V&12V	50%	70%	83%	85%	90%	98%	100%	102%	104%	105%
	2V	60%	75%	85%	88%	92%	99%	100%	103%	105%	106%
AGM Battery	6V&12V	46%	66%	76%	83%	90%	98%	100%	103%	107%	109%
	2V	55%	70%	80%	85%	92%	99%	100%	104%	108%	110%

### Discharge Current VS. Discharge Voltage

Final Discharge Voltage V /cell	1.75V	1.70V	1.60V
Discharge Current (A)	(A) ≤ 0.2C	0.2C < (A) < 1.0C	(A) ≥ 1.0C

Charge the batteries at least once every six months, if they are stored at 25°C.

Charging Method:

Constant Voltage	-0.2Cx2h+14.4-14.7Vx24h,Max. Current 0.3C
Constant Current	-0.2Cx2h+0.1Cx12h
Fast	-0.2Cx2h+0.3Cx4h

Bolt	M5	M6	M8
Terminal	F3 F4 F13 F18 T25 T26	F8 F11 F12-1 F15	F5 F9 F10 F12 F14 F16
Torque	6-7N·m	8-10N·m	10-12N·m

### Maintenance & Cautions

<b>Float Service:</b>
※ Every month, recommend inspection every battery voltage.
※ Every three months, recommend equalization charge for one time.
Equalization charge method:
Discharge: 100% rate capacity discharge.
Charge: Max. current 0.3CA, constant voltage 14.4-14.7V charge 24h.
※ Effect of temperature on float charge voltage: -3mV/°C/Cell.
※ Length of service life will be directly affected by the number of discharge cycles, depth of discharge, ambient temperature and charging voltage.

SHENZHEN RITAR POWER CO.,LTD.  
URL:www.ritarpower.com

Address: Rm405, Tower C, Huahan Building, Langshan Rd16, Nanshan District, ShenZhen, 518057, China  
Tel: +86-755-33981668 Fax: 86-755-8347-5180

2015-Week 0

## Gabinete



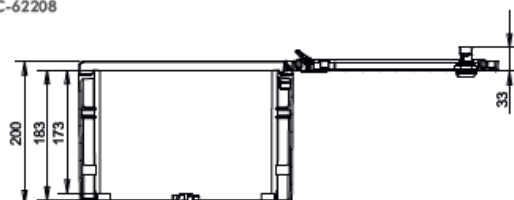
## ARMARIO INDUSTRIAL MONOBLOC IP66

## BRES-43

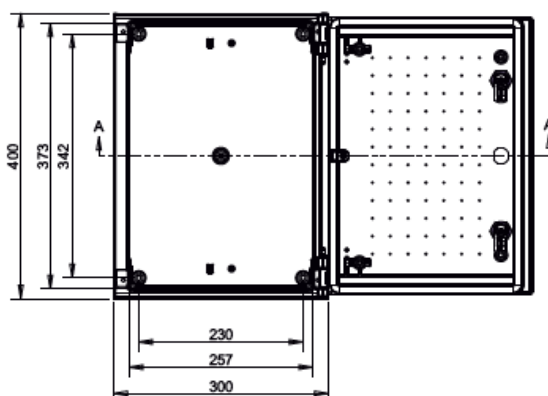
Armario de poliéster 400 x 300 x 200 mm



Normativa  
IEC  
IEC-62208



Sección A



## Packing

Unidad de embalaje	1	Altura del embalaje	401,0 mm	Unidades por palet 120 x 80 cm (Altura 220 cm)	66
Número de puertas	1	Ancho del embalaje	301,0 mm	Unidades por palet 110 x 110 cm (Altura 220 cm)	84
Peso	3,60 kg	Fondo del embalaje	201,5 mm	Unidades por palet 155 x 110 cm (Altura 227 cm)	119

## Comportamiento Ambiental

Temperatura Mínima	-30 °C	Grado de protección IP según IEC-60529	66
Temperatura Máxima	120 °C	Grado de resistencia al impacto IK según IEC-62262	10
Resistencia a la compresión	100 kg		

## Comportamiento Eléctrico

Tensión Nominal en corriente continua hasta:	1500 VdC
Tensión Nominal en corriente alterna hasta:	1000 VaC
Potencia máxima de disipación $\Delta T=40^{\circ}\text{C}$ (instalación en superficie)	58,8 W

## Instalación y sistema de montaje

Instalación Interior	Sí	En superficie	Sí
Instalación Exterior	Sí	Sobre suelo	Sí
Empotrable	No	Sobre poste	Sí



URIARTE SAFYBOX  
www.safybox.com



## 9.2 Anexos B

La comparación de medidas se realizó con los instrumentos de una estación meteorológica Campbell de precisión científica y una HOBO, estos no se especifican, más si los del prototipo, esto debido a que se pone un mayor énfasis en ellos. Sin embargo, aquí se pueden encontrar la información dichos instrumentos.

### Anemómetro y veleta de dirección de viento

# ONSET

## S-WSET-B Sensor

### Wind Speed and Direction Set Smart Sensor

The Wind Sensor Set includes Onset's research-grade plug-and-play Wind Speed Smart Sensor and the Wind Direction Smart Sensor. This combination provides average wind speed, highest 3-second wind gust, and average wind direction for the measurement interval. These durable sensors will provide many years of accurate and reliable performance.

**NOTE:** Mount these on the M-CAA Full Cross Arm for proper sensor spacing for accurate wind measurement in all wind directions.

The cross arm must be mounted on a stable mast, using guy wires as needed to prevent the sensors from vibrating in high winds.

Interested in wireless sensors? The wireless Wind Speed and Direction sensor is available for use with the HOBOnet Field Monitoring System.

#### Supported Measurements:

Wind

#### Key Advantages:

- Wind Sensor Set includes Onset's research-grade plug-and-play Wind Speed Smart Sensor and the Wind Direction Smart Sensor
- Provides average wind speed, highest 3-second wind gust, and average wind direction for the measurement interval
- Durable sensors



## S-WSET-B Sensor Specifications

Specifications	Wind Speed/Gust (S-W-WSB-M003)	Wind Direction (S-WDA-M003)
Measurement Range	0 to 76 m/s (0 to 170 mph)	0 to 355 degrees, 5 degree dead band
Maximum Wind Speed Survival	76 m/sec (170 mph)	87 m/sec (150 mph)
Accuracy	± 1 m/s (2.4 mph) or ± 4% of reading whichever is greater	± 5 degrees
Resolution	0.5 m/s (1.1 mph)	1.4 degrees
Starting Threshold	1.0 m/s (2.2 mph)	1.0 m/s (2.2 mph)
Measurement Definition	Cup revolutions are accumulated every three seconds for the duration of the logging interval. Wind speed is the average speed for the entire logging interval. Gust speed is the highest three-second wind recorded during the logging interval.	Unit vector components of wind direction are accumulated every three seconds for duration of logging interval. Average direction is calculated from the average of these.
Operating Temperature Range	-40°C to +75°C (-40°F to +167°F)	-40°C to +70°C (-40°F to +158°F)
Environmental Rating	Weatherproof	Weatherproof
Service Life	Greater than 5 years typical	4 to 6 years typical depending upon environmental conditions
Housing	Three cup polycarbonate anemometer; Modified Teflon® bearings and hardened beryllium shaft with ice shedding design	Injection-molded housing and vane, static dissipating base, lead-free silicon bronze nose, and aluminum mounting rod.
Bearing Type	Modified Teflon® bearings	two shielded stainless steel ball bearings
Turning Radius	9.5 cm (3.75 in.)	Approximately 13.5 cm (5.25 in.)
Dimensions	41 x 16 cm (16 x 6.5 in.) including 1.27 cm (0.5 in) diameter mounting rod; 5.5 cm (2.1 in.) drip overhang	46 x 20 cm (18 x 8.5 in.) including 1.27 cm (0.5 in) diameter mounting rod; 2.5 mm (0.1 in) drip overhang
Weight	Approximately 700 g (1.5 lbs)	Approximately 370 g (13 oz)
Number of Data Channels	2	1
Measurement Averaging Option	No	Automatic averaging (see Measurement Definition)
Cable Length Available	3.5 m (11.5 ft)	3.5 m (11.5 ft)
Length of Smart Sensor Network Cable	0.5 m (1.6 ft)	0.5 m (1.6 ft)
CE	The CE Marking identifies this product as complying with all relevant directives in the European Union (EU)	The CE Marking identifies this product as complying with all relevant directives in the European Union (EU)
Part Number	S-WSB-M003	S-WDA-M003

A single HOBO Weather Station logger can accommodate 15 data channels and up to 100 m (325 ft) of smart sensor cable (the digital communications portion of the sensor cables).

## Sensor de temperatura y humedad relativa

# *Model HMP45C Temperature and Relative Humidity Probe*

---

## 1. General Description

The HMP45C Temperature and Relative Humidity probe contains a Platinum Resistance Temperature detector (PRT) and a Vaisala HUMICAP<sup>®</sup> 180 capacitive relative humidity sensor.

The -L option on the model HMP45C Temperature and Relative Humidity probe (HMP45C-L) indicates that the cable length is user specified. This manual refers to the sensor as the HMP45C.

The HMP45C can be powered continuously or the power may be switched to conserve battery life. The HMP45C consumes less than 4 milliamperes current at 12 volts. Approximately 0.15 seconds is required for the sensor to warm up after power is switched on. At measurement rates slower than once per second, the overall power consumption (datalogger and sensors) may be reduced by switching power to the HMP45C. Most current Campbell Scientific dataloggers have a built-in switched 12 volts that can be used to control power.

The CR9000, CR510, CR500, CR7, CR10 and 21X dataloggers do not have a built-in switched 12 volts. Users with these dataloggers can power the sensor continuously or purchase the model SW12V to switch power.

### NOTE

Prior to April 2004, the HMP45C included a power switching circuit in the cable. The in-cable switching circuit was discontinued because in most cases it is no longer necessary and it made the cable difficult to route through the entry port on environmental enclosures.

Lead length for the HMP45C is specified when the sensor is ordered. Table 1-1 gives the recommended lead lengths.

**TABLE 1-1. Recommended Lead Lengths**

2 m Height		Atop a tripod or tower via a 2 ft crossarm such as the CM202							
Mast/Leg	CM202	CM6	CM10	CM110	CM115	CM120	UT10	UT20	UT30
9'	11'	11'	14'	14'	19'	24'	14'	24'	37'

*Note: Add two feet to the cable length if you are mounting the enclosure on the leg base of a light-weight tripod.*

The HMP45C ships with:

- (1) Adjustment Screwdriver from mfg
- (1) Calibration Sheet
- (1) Resource CD

## 2. Specifications

Operating Temperature: -40°C to +60°C

Storage Temperature: -40°C to +80°C

Probe Length: 25.4 cm (10 in.)

Probe Body Diameter: 2.5 cm (1 in.)

Filter: 0.2  $\mu$ m Teflon membrane

Filter Diameter: 1.9 cm (0.75 in.)

Power Consumption: <4 mA @ 12 V

Supply Voltage: 7 to 35 VDC

Settling Time: 0.15 seconds

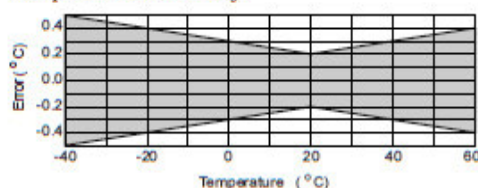
### 2.1 Temperature Sensor

Sensor: 1000  $\Omega$  PRT, IEC 751 1/3 Class B

Temperature Measurement Range: -40°C to +60°C

Temperature Output Signal range: 0.008 to 1.0 V

Temperature Accuracy:



### 2.2 Relative Humidity Sensor

Sensor: HUMICAP<sup>®</sup> 180

Relative Humidity Measurement Range: 0 to 100% non-condensing

RH Output Signal Range: 0.008 to 1 VDC

Accuracy at 20°C

±2% RH (0 to 90% Relative Humidity)

±3% RH (90 to 100% Relative Humidity)

Temperature Dependence of Relative Humidity Measurement:  $\pm 0.05\%$  RH/°C

Typical Long Term Stability: Better than 1% RH per year

Response Time (at 20°C, 90% response): 15 seconds with membrane filter

#### NOTE

The black outer jacket of the cable is Santoprene<sup>®</sup> rubber. This compound was chosen for its resistance to temperature extremes, moisture, and UV degradation. However, this jacket will support combustion in air. It is rated as slow burning when tested according to U.L. 94 H.B. and will pass FMVSS302. Local fire codes may preclude its use inside buildings.

## Piranómetro

# *CMP3-L Pyranometer*

---

## 1. General Description

This manual provides information for interfacing the CMP3-L Pyranometer to various models of Campbell Scientific dataloggers. The CMP3-L is manufactured by Kipp & Zonen and then cabled by Campbell Scientific. Cable length is user specified.

The CMP3-L is shipped with an instruction manual provided by Kipp & Zonen that contains information concerning the CMP3-L's construction, spectral sensitivity, cosine response, and a simple sensor check out procedure. Included with the sensor and manual is a calibration certificate with the sensor calibration constant and serial number. Cross check this serial number against the serial number on your CMP3-L to ensure that the given calibration constant corresponds to your sensor.

The CMP3-L pyranometer is designed for continuous outdoor use. Due to its flat spectral sensitivity from 300 to 3000 nm, it can be used in natural sunlight, under plant canopies, in green houses or buildings, and inverted to measure reflected solar radiation. Two CMP3-Ls can be used in combination to measure albedo. The CMP3-L can also be used to measure most types of artificial light (Xenon lamps, Halogen lamps, etc.).

The CMP3-L pyranometer consists of a thermopile sensor, housing, dome, and cable. The thermopile is coated with a black absorbent coating. The paint absorbs the radiation and converts it to heat. The resultant temperature difference is converted to a voltage by the copper-constantan thermopile. The thermopile is encapsulated in the housing in such a way that it has a field of view of 180 degrees and the angular characteristics needed to fulfill the cosine response requirements.

## 2. Specifications

The CMP3-L is an ISO Second Class pyranometer. While the worst case accuracy for daily sums given by Kipp & Zonen is  $\pm 10\%$ , the typical accuracy is  $\pm 5\%$ .

### ISO SPECIFICATIONS:

Response Time 95%:	18 seconds
Zero offset due to 200 W/m <sup>2</sup> thermal radiation:	< 15 W m <sup>-2</sup>
Zero offset due to temperature change of 5°K / hr:	< $\pm 4$ W m <sup>-2</sup>
Non stability (% change/year):	< $\pm 1\%$
Non linearity (0 to 1000 W/m <sup>2</sup> ):	< $\pm 2.5\%$
Directional error (at 80° with 1000 W/m <sup>2</sup> beam):	< $\pm 20$ W m <sup>-2</sup>

**CMP3-L Pyranometer**

---

Temperature Dependence of sensitivity:  $\pm 5\%$  ( $-10^{\circ}$  to  $+40^{\circ}\text{C}$ )

Tilt response ( $\pm 80^{\circ}$ ) (at  $1000\text{ W/m}^2$ ):  $< \pm 2\%$

**OTHER SPECIFICATIONS**

Expected accuracy for daily sums:  $\pm 10\%$

Spectral range (50% points, nm): 310 to 2800 nm

Sensitivity: 5 to  $20\ \mu\text{V W}^{-1}\text{ m}^2$

Typical signal output for atmospheric applications: 0 to 15 mV

Impedance: 30 to  $100\ \Omega$

Operating Temperature:  $-40^{\circ}$  to  $+80^{\circ}\text{C}$

Max. irradiance:  $2000\text{ Wm}^{-2}$

Detector: Copper-constantan multi junction thermopile

Level accuracy: 1 degree

**DIMENSIONS / SHIPPING DIMENSIONS**

CMP3-L: 3 in dia x 4 in / 8x12x4 in

**WEIGHT/SHIPPING WEIGHT**

CMP3-L: 1.2 lbs / 1.8 lbs

## 5. Overview

The CS106 uses Vaisala's Barocap® silicon capacitive pressure sensor, which has been designed for accurate and stable measurement of barometric pressure. This barometer is encased in a plastic shell (ABS/PC blend) fitted with an intake valve for pressure equalization.

The CS106 outputs a linear 0 to 2.5 VDC signal that corresponds to 500 to 1100 mb. It can be operated in a shutdown or normal mode (see Section 7.1, *Jumper Settings*). In the shutdown mode the datalogger switches 12 VDC power to the barometer during the measurement. The datalogger then powers down the barometer between measurements to conserve power.

If the CS106 and datalogger will be housed in different enclosures, the CABLE5CBL-L should be used instead of the cable that is shipped with the CS106. The CABLE5CBL-L can terminate in:

- Pigtails that connect directly to a Campbell Scientific datalogger (option –PT).
- Connector that attaches to a prewired enclosure (option –PW). Refer to [www.campbellsci.com/prewired-enclosures](http://www.campbellsci.com/prewired-enclosures) for more information.

## 6. Specifications

### Features:

- Integral switching circuit limits power consumption to measurement cycle
- Compatible with all Campbell Scientific dataloggers (including the CR200(X) series)

### Compatibility

Dataloggers:	CR200(X) series CR800 series CR1000 CR3000 CR5000 CR9000(X) CR7X CR510 CR10(X) CR23X 21X
--------------	--

### 6.1 Operating Range

Pressure:	500 mb to 1100 mb
Temperature:	-40° to +60°C
Humidity:	non-condensing

## 6.2 Accuracy

<b>Total Accuracy***:</b>	±0.3 mb @ +20°C ±0.6 mb @ 0° to +40°C ±1 mb @ -20° to +45°C ±1.5 mb @ -40° to +60°C
<b>Linearity*:</b>	±0.25 mb @ 20°C
<b>Hysteresis*:</b>	±0.03 mb @ 20°C
<b>Repeatability*:</b>	±0.03 mb @ 20°C
<b>Calibration Uncertainty**:</b>	±0.15 mb @ 20°C
<b>Long-Term Stability:</b>	±0.1 mb per year

\* Defined as ±2 standard deviation limits of end-point non-linearity, hysteresis error, or repeatability error

\*\* Defined as ±2 standard deviation limits of inaccuracy of the working standard at 1000 mb in comparison to international standards (NIST)

\*\*\* Defined as the root sum of the squares (RSS) of end-point non-linearity, hysteresis error, repeatability error and calibration uncertainty at room temperature

## 6.3 General

<b>Dimensions:</b>	9.7 x 6.8 x 2.8 cm (3.8 x 2.7 x 1.1 in)
<b>Weight:</b>	90 g (3.2 oz)
<b>Housing Material:</b>	ABS/PC blend
<b>Supply Voltage:</b>	10 to 30 Vdc
<b>Supply Voltage Control:</b>	When the internal jumper is closed, the CS106 is on continually. When the jumper is open, the CS106 can be turned on/off with 5 Vdc/ 0 Vdc.
<b>Supply Voltage Sensitivity:</b>	negligible
<b>Current Consumption:</b>	<4 mA (active); <1 µA (quiescent)
<b>Output Voltage:</b>	0 to 2.5 Vdc
<b>Warm Up Time:</b>	1 s
<b>Pressure Fitting:</b>	barbed fitting for 1/8 in I.D. tubing
<b>Overpressure Limit:</b>	2000 mb

### 9.3 Anexos C

En la parte de diseño se muestra un diagrama de flujo en el cual se base el código, además de las librerías y los pines usados. En este apartado del anexo se muestra el código completo.

```

#include <Adafruit_AM2315.h>
Adafruit_AM2315 am2315;
#include <SD.h>
#include <SFE_BMP180.h>
#include <Wire.h>
#include "RTClib.h"
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <Arduino.h>
RTC_DS1307 rtc;
SFE_BMP180 bmp180;
File myFile;
int segundo,minuto,hora,dia,mes;
long anio;
DateTime HoraFecha;
//promed max min
int contador_lecturas;
// AM315 Temperatura y humedad
float temp_max = -10;
float temp_min = 200;
float temp_promedio;
float acumulador_temp = 0;
float humedad_promedio;
float acumulador_humedad = 0;
float hr_max = -10;
float hr_min = 200;
//temp. suelo 1
float temp_maxt1 = -10;
float temp_mint1 = 200;
float acumulador_tt1 = 0;
float temp_promediot1;
//temp. suelo 2
float temp_maxt2 = -10;
float temp_mint2 = 200;
float acumulador_tt2 = 0;
float temp_promediot2;
//temp. suelo 3
float temp_maxt3 = -10;
float temp_mint3 = 200;
float acumulador_tt3 = 0;
float temp_promediot3;
//Presion
float temp_maxGI = -10;
float temp_minGI = 200;
//Temperatura del gabinete
float TGI_promedio;
float acumulador_TGI = 0;
float P_promedio;
float acumulador_P = 0;
float P_max = 100; //temperatura
float P_min = 800;
//Anenometro
float WV_promedio;
float acumulador_WV = 0;
float WV_max = -10;
float WV_min = 100;
// DS18B20
OneWire ourWire(29); //Se
establece el pin 29,27 y 25 como inputs
OneWire ourWire2(27);
OneWire ourWire3(25);
DallasTemperature
sensors(&ourWire);
DallasTemperature
sensors2(&ourWire2);
DallasTemperature
sensors3(&ourWire3);
//Variables direccion del viento
int VaneValue;
int Direction;
int CalDirection;
#define Offset 0;
float WD_promedio;
float acumulador_WD = 0;
//Variables velocidad del viento
#include <math.h>

```

```

#define WindSensorPin (3) // Pin de
entrada para señal
volatile unsigned long Rotations;
volatile unsigned long
ContactBounceTime;
float WindSpeed;
#include <avr/sleep.h>
#include <avr/wdt.h>
// watchdog interrupt
ISR(WDT_vect)
{
    wdt_disable(); // disable watchdog
}
void myWatchdogEnable(const
byte interval)
{
    MCUSR = 0; // reset
various flags
    WDTCSR |= 0b00011000;
// see docs, set WDCE, WDE
    WDTCSR = 0b01000000 |
interval; // set WDIE, and appropriate
delay
    wdt_reset();
    set_sleep_mode
(SLEEP_MODE_PWR_DOWN);
    sleep_mode(); // now goes
to Sleep and waits for the interrupt
}
void setup() {
    Serial.begin(9600);
    Serial.println("Iniciando...");
    Serial.print("Iniciando SD ...");
    if (!SD.begin(4)) {
        Serial.println("No se pudo
inicializar");
        return;
    }
    Serial.println("inicializacion
exitosa");
    if (bmp180.begin())
        Serial.println("BMP180 iniciado
correctamenten");
    else {
        Serial.println("Error al iniciar el
BMP180");
    }
    rtc.begin();

```

```

    sensors.begin();
    sensors2.begin();
    sensors3.begin();
    pinMode(WindSensorPin,
INPUT);

attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(Wind
SensorPin), isr_rotation, FALLING);
}
void CapturaHRTAM2315(){
    float temperature, humidity;
    if
(!am2315.readTemperatureAndHumidity(
&temperature, &humidity)){
        Serial.println("Failed to read data
from AM2315");
        return;
    }
    Serial.print("Temp *C: ");
    Serial.println(temperature);
    Serial.print("Hum %: ");
    Serial.println(humidity);
    delay (50);
    myFile = SD.open("datalog.csv",
FILE_WRITE);
    // if the file opened okay, write
to it:
    if (myFile){
        Serial.print("Writing AM315
datos...");
        myFile.print(humidity);
        myFile.print(",");
        myFile.print(temperature);
        myFile.print(",");
        // close the file:
        myFile.close();
        Serial.println("saved AM315
datos done");
    } else {
        // if the file didn't open, print an
error:
        Serial.println("error saving
AM315 in datalog.txt");
    }
    /* incrementar acumulador de
humedad y temp */
    acumulador_humedad =
acumulador_humedad + humidity;

```

```

        acumulador_temp          =
acumulador_temp + temperature;
        /* capturar temperatura
maxima */
        if (temperature > temp_max){
            temp_max = temperature;
        }
        /* capturar temperatura
minima */
        if ( temperature < temp_min) {
            temp_min = temperature;
        }
        /* capturar hr maxima */
        if (humidity > hr_max){
            hr_max = humidity;
        }
        /* capturar hr minima */
        if ( humidity < hr_min){
            hr_min = humidity;
        }
    }

//BMP180 PRESION
void CapturaPB(){
    char status;
    double T,P;
    status          =
bmp180.startTemperature();//Inicio de
lectura de temperatura
    if (status != 0){
        delay(status); //Pausa para que
finalice la lectura
        status          =
bmp180.getTemperature(T); //Obtener la
temperatura
        T -= 2.02;
        if (status != 0)
        {
            status          =
bmp180.startPressure(3); //Inicio lectura de
presión
            if (status != 0)
            {
                delay(status);//Pausa para que
finalice la lectura
                status          =
bmp180.getPressure(P,T); //Obtenemos la
presión
                P += 11.52;
                if (status != 0)
                {
                    Serial.print("Temperatura
interna del gabinete: ");
                    Serial.print(T,2);
                    Serial.print(" *C , ");
                    Serial.print("Presion: ");
                    Serial.print(P,2);
                    Serial.println(" mb");
                    delay (50);
                    myFile = SD.open("datalog.csv",
FILE_WRITE);
                    // if the file opened okay, write to
it:
                    if (myFile) {
                        Serial.print("Writing
to
presion.txt...");
                        myFile.print(T,2);
                        myFile.print(",");
                        myFile.print(P,2);
                        myFile.print(",");
                        // close the file:
                        myFile.close();
                        Serial.println("saved
presion
done");
                    } else {
                        // if the file didn't open, print an
error:
                        Serial.println("error
opening
datalog.txt");
                    }
                    /* incrementar acumulador de
presion y temp */
                    acumulador_TGI          =
acumulador_TGI + T;
                    acumulador_P = acumulador_P
+ P;
                    /* capturar temperatura maxima
*/
                    if ( T > temp_maxGI) {
                        temp_maxGI = T;
                    }
                    /* capturar temperatura minima
*/
                    if ( T < temp_minGI) {
                        temp_minGI = T;
                    }
                }
            }
        }
    }
}

```

```

        /* capturar P maxima */
        if ( P > P_max) {
            P_max = P;
        }
        /* capturar P minima */
        if ( P < P_min) {
            P_min = P;
        } } } } }

//Temp suelo
void CapturaTS1() {
    float CT= 0.253;
    sensors.requestTemperatures();
//Se envía el comando para leer la
temperatura
    float                temp1=
sensors.getTempCByIndex(0); //Se obtiene
la temperatura en °C del sensor 1
    sensors2.requestTemperatures();
//Se envía el comando para leer la
temperatura
    float                temp2=
sensors2.getTempCByIndex(0); //Se
obtiene la temperatura en °C del sensor 2
    sensors3.requestTemperatures();
//Se envía el comando para leer la
temperatura
    float                temp3=
sensors3.getTempCByIndex(0); //Se
obtiene la temperatura en °C del sensor 2
    delay (50);
    Serial.print("Temperatura 50 cm
SUELO = ");
    Serial.print(temp1 + CT);
    Serial.print(" C");
    Serial.print("    Temperatura 100
cm SUELO = ");
    Serial.print(temp2 + CT);
    Serial.print(" C");
    Serial.print("    Temperatura 150
cm SUELO = ");
    Serial.print(temp3 + CT);
    Serial.println(" C");

    myFile = SD.open("datalog.csv",
FILE_WRITE);

```

```

// if the file opened okay, write to
it:
    if(myFile) {
        Serial.print("Writing          t
underground...");
        myFile.print(temp1 + CT);
        myFile.print(",");
        myFile.print(temp2 + CT);
        myFile.print(",");
        myFile.print(temp3 + CT);
        myFile.print(",");
        // close the file:
        myFile.close();
        Serial.println("done. datalog");
    } else {
        // if the file didn't open, print an
error:
        Serial.println("error    opening
datalog.txt");
    }

    /* incrementar acumulador dE
temp */
        acumulador_tt1          =
acumulador_tt1 + temp1 + CT;
        acumulador_tt2          =
acumulador_tt2 + temp2 + CT;
        acumulador_tt3          =
acumulador_tt3 + temp3 + CT;
        /* capturar temperatura maxima
50 cm */
        if ( temp1 + CT > temp_max1)
        {
            temp_max1 = temp1+ CT;
        }
        /* capturar temperatura minima
50 cm */
        if ( temp1 + CT< temp_mint1) {
            temp_mint1 = temp1+ CT;
        }
        /* capturar temperatura maxima
100 cm */
        if ( temp2 + CT > temp_max2)
        {
            temp_max2 = temp2+ CT;
        }
        /* capturar temperatura minima
100 cm */
        if ( temp2+ CT < temp_mint2) {

```

```

        temp_mint2 = temp2+ CT;
    }
    /* capturar temperatura
maxima 150 cm */
    if ( temp3+ CT > temp_maxt3)
    {
        temp_maxt3 = temp3+ CT;
    }
    /* capturar temperatura minima
150 cm */
    if ( temp3+ CT < temp_mint3) {
        temp_mint3 = temp3+ CT;
    }
}
//RTC
void CapturaHoraFecha() {
    HoraFecha = rtc.now(); //obtenemos
la hora y fecha actual

```

```

    segundo=HoraFecha.second();
    minuto=HoraFecha.minute();
    hora=HoraFecha.hour();
    dia=HoraFecha.day();
    mes=HoraFecha.month();
    anio=HoraFecha.year();
    Serial.print("hora = ");
    Serial.print(hora);
    Serial.print(":");
    Serial.print(minuto);
    Serial.print(":");
    Serial.print(segundo);
    Serial.print(" Fecha = ");
    Serial.print(dia);
    Serial.print("/");
    Serial.print(mes);
    Serial.print("/");
    Serial.print(anio);
    Serial.println();
    delay (50);
    myFile = SD.open("datalog.csv",
FILE_WRITE);
    if (myFile) {
        Serial.print("Writing hora..");
        myFile.print(hora);
        myFile.print(":");
        myFile.print(minuto);
        myFile.print(":");

```

```

        myFile.print(segundo);
        myFile.print(" ");
        myFile.print(dia);
        myFile.print("/");
        myFile.print(mes);
        myFile.print("/");
        myFile.print(anio);
        myFile.print(",");
        // close the file:
        myFile.close();
        Serial.println("done. datalog");
    } else {
        // if the file didn't open, print an
error:
        Serial.println("error opening
datalog.txt and saving time");
    } }

```

```

//ACS712 Radiacion
void CapturaAmperajePP() {

    float I=get_corriente(500);//500
    Serial.print("Corriente: ");
    Serial.println(I,3);
    float a= (I,3);

    myFile = SD.open("datalog.csv",
FILE_WRITE);
    if (myFile) {
        Serial.print("Writing A...");
        myFile.print(I,3);
        myFile.print(",");
        myFile.print(I);
        myFile.print(",");
        // close the file:
        myFile.close();
        Serial.println("saved A done");
    } else {
        // if the file didn't open, print an
error:
        Serial.println("error saving A");
    }
    delay(150);
}
float get_corriente(int n_muestras)
{

```

```

float voltajeSensor;
float corriente=0;
for(int i=0;i<n_muestras;i++)
{
    voltajeSensor = analogRead(A1)
* (5.0 / 1023.0);////RS
corriente=corriente+(voltajeSensor-
2.5)/Sensibilidad; //A
}
corriente=corriente/n_muestras;
return(corriente);
}
//Direccion del viento
void CapturaWD() {
    VaneValue = analogRead(A0);
    Direction = map(VaneValue, 0,
1023, 0, 360);
    CalDirection = Direction + Offset;
    if(CalDirection > 360)
    CalDirection = CalDirection - 360;
    if(CalDirection < 0)
    CalDirection = CalDirection + 360;
    Serial.print("Wind Direcction: ");
    Serial.println(CalDirection);
    delay (50);
    myFile = SD.open("datalog.csv",
FILE_WRITE);
    if (myFile) {
        Serial.print("Writing WD...");
        myFile.print(CalDirection);
        myFile.print(",");
        // close the file:
        myFile.close();
        Serial.println("saved WD done");
    } else {
        // if the file didn't open, print an
error:
        Serial.println("error saving
WD");
    }

    acumulador_WD =
acumulador_WD + CalDirection;
}
//Velocidad del viento

```

```

void CapturaWV () {
    Rotations = 0; // Set Rotations count
to 0 ready for calculations
    delay (3000); // Wait 3 seconds to
average
    cli();
    WindSpeed = Rotations * 0.335;
    Serial.print("Wind speed ");
    Serial.println(WindSpeed);
    myFile = SD.open("datalog.csv",
FILE_WRITE);
    if (myFile) {
        Serial.print("Writing WS...");
        myFile.println(WindSpeed);
        // close the file:
        myFile.close();
        Serial.println("saved Ws done");
    } else {
        // if the file didn't open, print an
error:
        Serial.println("error saving Ws");
    }
    acumulador_WV =
acumulador_WV + WindSpeed;
    if ( WindSpeed > WV_max) {
        WV_max = WindSpeed;
    }
    /* capturar corriente minimo */
    if ( WindSpeed < WV_min ) {
        WV_min = WindSpeed;
    }
}
// This is the function that the
interrupt calls to increment the rotation
count
void isr_rotation () {
    if ((millis() - ContactBounceTime)
> 15 ) { // debounce the switch contact.
        Rotations++;
        ContactBounceTime = millis();
    }
}
void loop() {
    CapturaHoraFecha(); //Time
    CapturaHRTAM2315(); // captura
tem y HR
    CapturaPB(); // Captura de Presión

```

```

    CapturaTS1(); // Captura de
temperatura del suelo
    delay(50);
    CapturaAmperajePP(); //
Radiacion directa
    delay(50);
    CapturaAmperajePS(); //
Radiacion Reflejada
    CapturaWD(); // captura de
direccion de viento
    CapturaWV(); // captura de
velocidad de viento
    sei();
    delay(10);
    for (int i = 0; i <305; i++) {
        myWatchdogEnable (0b000110);
    }
    delay(10);
    contador_lecturas++;
    if (contador_lecturas == 12) {
        humedad_promedio =
acumulador_humedad / contador_lecturas;
        temp_promedio =
acumulador_temp / contador_lecturas;
        A_promedio = acumulador_A /
contador_lecturas;
        temp_promediot1 =
acumulador_tt1 / contador_lecturas;
        temp_promediot2 =
acumulador_tt2 / contador_lecturas;
        temp_promediot3 =
acumulador_tt3 / contador_lecturas;
        P_promedio = acumulador_P /
contador_lecturas;
        TGI_promedio =
acumulador_TGI / contador_lecturas;
        WD_promedio =
acumulador_WD / contador_lecturas;
        WV_promedio =
acumulador_WV / contador_lecturas;
        delay (100);
        myFile = SD.open("ac.csv",
FILE_WRITE);
        // if the file opened okay, write to
it:
        if (myFile) {
            Serial.println("Escribiendo
archivo .csv: ");
            myFile.print(dia);
            myFile.print("/");
            myFile.print(mes);
            myFile.print("/");
            myFile.print(año);
            myFile.print(" ");
            myFile.print(hora);
            myFile.print(":");
            myFile.print(minuto);
            myFile.print(":");
            myFile.print(segundo);
            myFile.print(",");
            myFile.print(temp_promedio);
            myFile.print(",");
            myFile.print(temp_max);
            myFile.print(",");
            myFile.print(temp_min);
            myFile.print(",");
            myFile.print(humedad_promedio);
            myFile.print(",");
            myFile.print(hr_max);
            myFile.print(",");
            myFile.print(hr_min);
            myFile.print(",");
            myFile.print(temp_promediot1);
            myFile.print(",");
            myFile.print(temp_maxt1);
            myFile.print(",");
            myFile.print(temp_mint1);
            myFile.print(",");
            myFile.print(temp_promediot2);
            myFile.print(",");
            myFile.print(temp_maxt2);
            myFile.print(",");
            myFile.print(temp_mint2);
            myFile.print(",");
            myFile.print(temp_promediot3);
            myFile.print(",");
            myFile.print(temp_maxt3);
            myFile.print(",");
            myFile.print(temp_mint3);
            myFile.print(",");
            myFile.print(P_promedio);

```

```

myFile.print(",");
myFile.print(P_max);
myFile.print(",");
myFile.print(P_min);
myFile.print(",");
myFile.print(TGI_promedio);
myFile.print(",");
myFile.print(temp_maxGI);
myFile.print(",");
myFile.print(temp_minGI);
myFile.print(",");
myFile.print(WV_promedio);
myFile.print(",");
myFile.print(WV_max);
myFile.print(",");
myFile.print(WV_min);
myFile.print(",");

myFile.println(WD_promedio);
// close the file:
myFile.close();
} else {
// if the file didn't open, print an
error:
Serial.println("not writed");
}
delay(100);
/* resetear variables */
contador_lecturas = 0;
temp_max = -10;

temp_min = 200;
acumulador_humedad = 0;
acumulador_temp = 0;
hr_max = -10;
hr_min = 200;
temp_maxt1 = -10;
temp_mint1 = 200;
temp_maxt2 = -10;
temp_mint2 = 200;
temp_maxt3 = -10;
temp_mint3 = 200;
acumulador_tt3 = 0;
acumulador_tt2 = 0;
acumulador_tt1 = 0;
A_max = -10;
A_min = 10;
acumulador_A = 0;
temp_maxGI = -10;
temp_minGI = 200;
acumulador_TGI = 0;
acumulador_P = 0;
P_max = 100;
P_min = 800;
acumulador_WD = 0;
acumulador_WV = 0;
WV_max = -10;
WV_min = 100;
}}

```

## 9.4 Anexos D

Al realizar la correlación entre la corriente del panel solar y la radiación medida por el piranómetro, el software MATLAB genera una serie de ecuaciones de acuerdo al rango en el que se encuentre la corriente (x).

Las ecuaciones son las siguientes:

$$58688078.24x^3 + -32434.08x^2 + 751.40x + 31.01 \quad 0.00 \leq x < 0.00$$

$$-4906497.40x^3 + 69450.17x^2 + 862.59x + 31.78 \quad 0.00 \leq x < 0.01$$

$$237826.55x^3 + -14780.31x^2 + 779.65x + 42.45 \quad 0.01 \leq x < 0.05$$

$$-97161.06x^3 + 8664.56x^2 + 662.66x + 63.11 \quad 0.05 \leq x < 0.11$$

$$-9143.91x^3 + 1467.45x^2 + 719.00x + 110.33 \quad 0.11 \leq x < 0.33$$

$$-12481.35x^3 + -1191.38x^2 + 0.00x + 242.24 \quad 0.33 \leq x < 0.35$$

$$20930785.42x^3 + -341966.54x^2 + -74.61x + 241.46 \quad 0.35 \leq x < 0.36$$

$$-2732335.63x^3 + 127752.88x^2 + 0.00x + 227.12 \quad 0.36 \leq x < 0.38$$

$$-90564773.72x^3 + 422175.43x^2 + 1895.49x + 254.50 \quad 0.38 \leq x < 0.39$$

$$-622077.95x^3 + 7598.09x^2 + 1983.29x + 261.54 \quad 0.39 \leq x < 0.42$$

$$155949.58x^3 + -11768.07x^2 + 452.44x + 312.90 \quad 0.42 \leq x < 0.47$$

$$-706107.46x^3 + 55113.89x^2 + 422.47x + 325.17 \quad 0.47 \leq x < 0.52$$

$$29249.97x^3 + -5580.53x^2 + 534.33x + 396.40 \quad 0.52 \leq x < 0.65$$

$$-167806.36x^3 + 40472.66x^2 + 510.29x + 433.12 \quad 0.65 \leq x < 0.81$$

$$664.36x^3 + -658.11x^2 + 245.37x + 865.18 \quad 0.81 \leq x < 1.48$$

$$-132788698.42x^3 + 763778.34x^2 + 263.63x + 935.00 \quad 1.48 \leq x < 1.49$$

$$66990740.74x^3 + -602916.67x^2 + 0.00x + 939.78 \quad 1.49 \leq x < 1.49$$

$$-1671534740.57x^3 + 5391319.48x^2 + 0.00x + 932.54 \quad 1.49 \leq x < 1.50$$

$$140701.65x^3 + -65318.51x^2 + 1506.86x + 940.74 \quad 1.50 \leq x < 1.51$$

$$48721093.75x^3 + -584653.13x^2 + 0.00x + 949.66 \quad 1.51 \leq x < 1.51$$

$$-39906931.10x^3 + 468881.17x^2 + 0.00x + 937.18 \quad 1.51 \leq x < 1.52$$

$$-225794.24x^3 + -6413.44x^2 + 698.02x + 946.47 \quad 1.52 \leq x < 1.55$$

$51035546.87x^3 + -612426.56x^2 + 0.00x + 956.41$   $1.55 \leq x < 1.55$   
 $-32889200000.01x^3 + 49333800.00x^2 + 0.00x + 943.34$   $1.55 \leq x < 1.55$   
 $23443999999.99x^3 + -35166000.00x^2 + 0.00x + 959.79$   $1.55 \leq x < 1.56$   
 $-115921600.00x^3 + 869412.00x^2 + 0.00x + 948.07$   $1.56 \leq x < 1.56$   
 $12107888.81x^3 + -199780.17x^2 + 0.00x + 955.31$   $1.56 \leq x < 1.57$   
 $1407252.18x^3 + 113611.58x^2 + 0.00x + 947.25$   $1.57 \leq x < 1.57$   
 $-3662383682.59x^3 + 10807234.73x^2 + 719.67x + 948.31$   $1.57 \leq x < 1.58$   
 $-5888977.95x^3 + -96425.68x^2 + 0.00x + 963.68$   $1.58 \leq x < 1.58$   
 $12549684775.42x^3 + -22100990.19x^2 + -2673.49x + 954.50$   $1.58 \leq x < 1.59$   
 $110214241.59x^3 + -223059.79x^2 + -9226.42x + 942.27$   $1.59 \leq x < 1.59$   
 $3212672.75x^3 + 195827.09x^2 + 0.00x + 902.69$   $1.59 \leq x < 1.60$   
 $-27094127948.83x^3 + 38505503.07x^2 + 6087.72x + 936.44$   $1.60 \leq x < 1.60$   
 $4822667.45x^3 + -166014.19x^2 + 1816.35x + 953.94$   $1.60 \leq x < 1.61$   
 $1775400000.00x^3 + -5326200.00x^2 + 0.00x + 960.35$   $1.61 \leq x < 1.62$   
 $-342021875.00x^3 + 2052131.25x^2 + 0.00x + 953.25$   $1.62 \leq x < 1.62$   
 $306334375.00x^3 + -1838006.25x^2 + 0.00x + 964.20$   $1.62 \leq x < 1.62$   
 $-1854331.63x^3 + 48808.32x^2 + 0.00x + 954.40$   $1.62 \leq x < 1.63$   
 $-658533163.37x^3 + 777866.33x^2 + 419.87x + 957.42$   $1.63 \leq x < 1.64$   
 $14212109.37x^3 + -170545.31x^2 + 0.00x + 957.96$   $1.64 \leq x < 1.64$   
 $-103548800.00x^3 + 776616.00x^2 + 0.00x + 954.32$   $1.64 \leq x < 1.65$   
 $1167690222.29x^3 + -3569880.44x^2 + 0.00x + 960.79$   $1.65 \leq x < 1.65$   
 $-340317.90x^3 + 17260.69x^2 + -267.24x + 955.86$   $1.65 \leq x < 1.66$   
 $-38230179.60x^3 + 381583.86x^2 + 0.00x + 954.55$   $1.66 \leq x < 1.67$   
 $-6371725.30x^3 + 2773.25x^2 + 450.15x + 960.03$   $1.67 \leq x < 1.67$   
 $195143750.00x^3 + -1170862.50x^2 + 0.00x + 961.55$   $1.67 \leq x < 1.68$   
 $-43799950.00x^3 + 436874.80x^2 + 0.00x + 955.31$   $1.68 \leq x < 1.68$   
 $-2179599199.98x^3 + 2573098.40x^2 + 1392.60x + 959.49$   $1.68 \leq x < 1.68$   
 $4975056.90x^3 + -97013.61x^2 + 0.00x + 961.28$   $1.68 \leq x < 1.70$   
 $-10917400000.00x^3 + 16376100.00x^2 + 0.00x + 955.81$   $1.70 \leq x < 1.70$

$$13304758547.47x^3 + -20328258.55x^2 + 0.00x + 961.27 \quad 1.70 \leq x < 1.70$$

$$-2394397.70x^3 + 75122.86x^2 + -742.24x + 954.25 \quad 1.70 \leq x < 1.71$$

$$-1431900000.00x^3 + 4295700.00x^2 + 0.00x + 951.89 \quad 1.71 \leq x < 1.71$$

$$4668804.66x^3 + -49022.45x^2 + 0.00x + 957.62 \quad 1.71 \leq x < 1.71$$

$$-289470.40x^3 + 36110.45x^2 + 0.00x + 956.82 \quad 1.71 \leq x < 1.77$$

$$-22192942.98x^3 + 169356.32x^2 + 1367.64x + 1016.54 \quad 1.77 \leq x < 1.77$$

$$342423.38x^3 + -23266.71x^2 + 1003.08x + 1026.05 \quad 1.77 \leq x < 1.80$$

$$6356317.18x^3 + -42296.90x^2 + 476.24x + 1040.97 \quad 1.80 \leq x < 1.80$$

$$-393611.18x^3 + 9521.75x^2 + 442.96x + 1042.61 \quad 1.80 \leq x < 1.81$$

$$270.04x^3 + 103.62x^2 + 518.71x + 1047.08 \quad 1.81 \leq x < 2.08$$

## 9.5 Anexos E

Debido a la duración de la investigación, se realizó diversas salidas a campo en donde se realizaron diferentes actividades, desde la instalación del prototipo, la alineación de los instrumentos y la descarga de data. En este anexo se muestra un panel fotográfico donde se constata las actividades descritas.

### Figura 48

*Instalación de prototipo en Quilcayhuanca*



**Figura 49**

*Programación de microcontrolador*

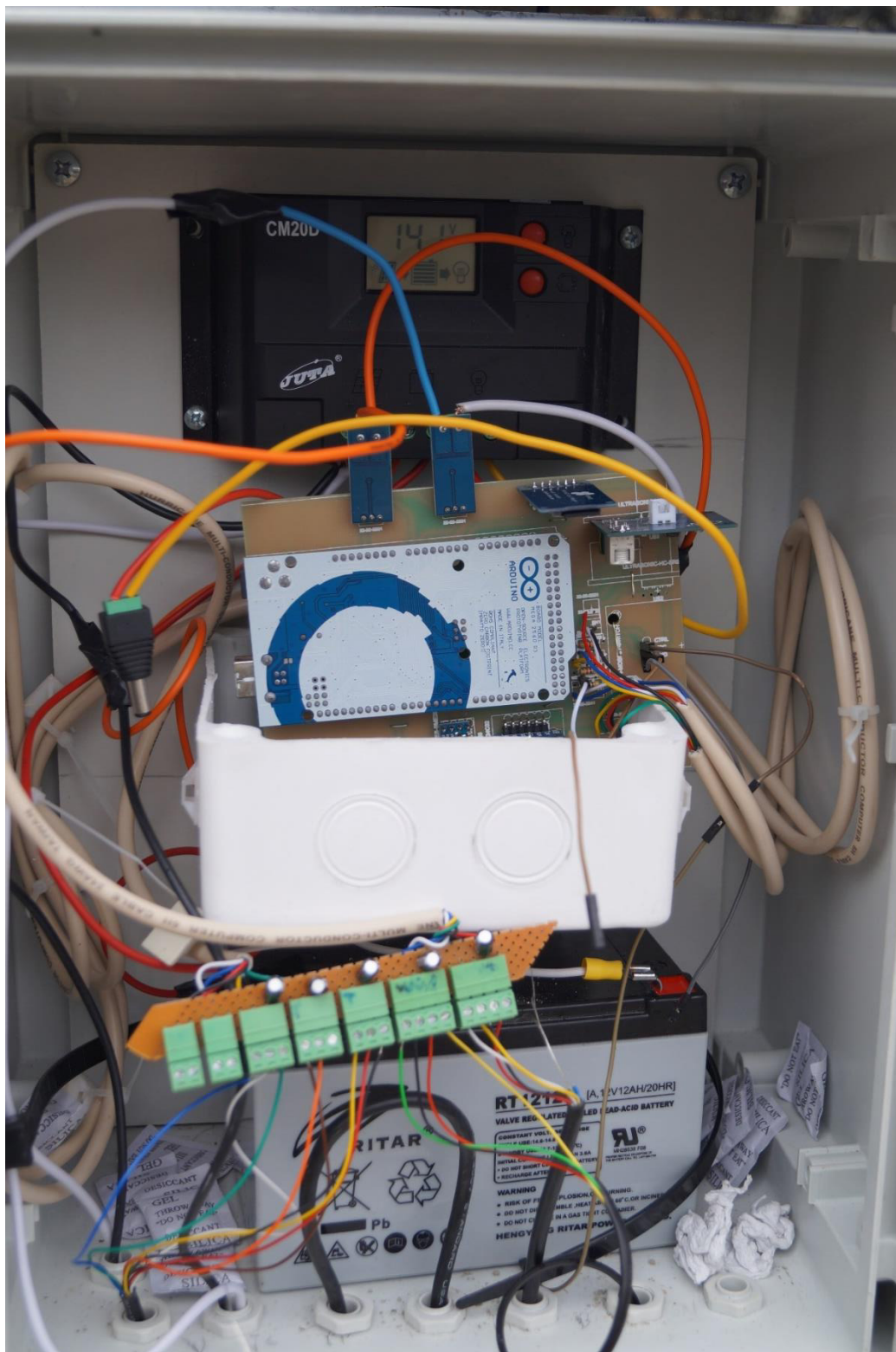
**Figura 50**

*Descarga de data de estación prototipo*



**Figura 51**

*Vista del interior del gabinete*



**Figura 52**

*Descarga de data de estación Campbell*





**Figura 54**

*Estación HOBO y prototipo*

