



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA ESTACIÓN
METEOROLÓGICA AUTÓNOMA E INALÁMBRICA BASADA EN
***HARDWARE* EMBEBIDO QUE SOPORTE ENTORNOS GRÁFICOS**
DE PROGRAMACIÓN”

Trabajo de Titulación

Tipo: Dispositivo Tecnológico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA, CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

AUTOR: JOSÉ LUIS DARQUEA DARQUEA

DIRECTOR: ING. FABRICIO JAVIER SANTACRUZ SULCA MSc.

Riobamba – Ecuador

2020

©2020, José Luis Darquea Darquea

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, José Luis Darquea Darquea, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 24 de agosto de 2020

José Luis Darquea Darquea

C.I. 060375722-0

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA CONTROL Y REDES INDUSTRIALES

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: Dispositivo Electrónico, **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA ESTACIÓN METEOROLÓGICA AUTÓNOMA E INALÁMBRICA BASADA EN *HARDWARE* EMBEBIDO QUE SOPORTE ENTORNOS GRÁFICOS DE PROGRAMACIÓN**, realizado por el señor **JOSÉ LUIS DARQUEA DARQUEA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

FIRMA

FECHA

Ing. Pablo Eduardo Lozada Yánez

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

24 de agosto de 2020

Ing. Fabricio Javier Santacruz Sulca

DIRECTOR DEL TRABAJO DE

TITULACIÓN

24 de agosto de 2020

Ing. José Enrique Guerra Salazar

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

24 de agosto de 2020

DEDICATORIA

A mi familia, mis amigos, mis profesores, mis compañeros y al personal administrativo de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Dedico este trabajo a la comunidad estudiantil como el cimiento de una investigación más amplia en el ámbito de la meteorología.

José Luis

AGRADECIMIENTO

A mi madre, por brindarme las herramientas necesarias para culminar los estudios, por su amor ilimitado y su paciencia infinita.

Al Ing. Fausto Cabrera por su tutoría y al Ing. José Guerra por brindarme su invaluable tiempo y conocimiento para poder culminar con este proyecto de titulación.

A mis amigos quienes durante mi vida académica me incentivaron y me acompañaron en cada uno de los proyectos y compartieron horas de madrugadas para culminar con este reto.

Gracias a todas y cada una de las personas que tuve la oportunidad de estrechar la mano y compartir una sonrisa.

José Luis

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xv
RESUMEN.....	xvi
SUMMARY.....	xvii
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	6
1.1 Antecedentes	6
1.2 Variables meteorológicas	8
1.2.1 Temperatura.....	8
1.2.2 Humedad Relativa.....	9
1.2.3 Presión atmosférica.....	10
1.2.4 Precipitación.....	12
1.3 Relación entre variables climáticas	13
1.4 Estaciones meteorológicas	14
1.4.1 Elementos climáticos de las estaciones meteorológicas de la superficie.....	15
1.4.2 Estaciones meteorológicas convencionales.....	15
1.4.2.1 <i>Tipos de estaciones meteorológicas convencionales</i>	15
1.4.3 Estaciones meteorológicas automáticas (EMA).....	16
1.4.3.1 <i>Tipos de estaciones meteorológicas automáticas</i>	17
1.4.3.2 <i>Estaciones meteorológicas automáticas existentes en el mercado</i>	17
1.4.3.3 <i>Requerimientos de las EMA</i>	18
1.4.3.4 <i>Requerimientos del datalogger para estaciones meteorológicas automáticas</i>	20
1.4.3.5 <i>Requerimientos para la transmisión y adquisición de datos en estaciones meteorológicas automáticas</i>	21
1.4.3.6 <i>Requerimientos para el sistema de alimentación eléctrica en estaciones meteorológicas automáticas</i>	22
1.5 Elementos electrónicos de las EMA	22

1.5.1	Sensores de temperatura y humedad.....	23
1.5.1.1	<i>Termómetros de resistencia eléctrica.....</i>	24
1.5.1.2	<i>Resistencia de Termistores.....</i>	24
1.5.1.3	<i>Termopares o termocuplas.....</i>	24
1.5.1.4	<i>Sensores de Humedad Relativa.....</i>	25
1.5.2	Sensores de Presión Barométrica o Atmosférica.....	26
1.6	Análisis de las Estaciones Meteorológicas Automáticas.....	27
1.7	Tarjetas de procesamiento.....	27
1.8	Sistema de alimentación eléctrica autónomo.....	28

CAPITULO II

PROPUESTA Y DISEÑO DE PROTOTIPO.....	29	
2.1	Requerimientos de la estación meteorológica.....	29
2.2	Concepción de la arquitectura de la estación meteorológica automática.....	29
2.2.1	Funcionamiento y análisis de los módulos.....	30
2.2.1.1	<i>Módulo principal.....</i>	30
2.2.1.2	<i>Módulo de visualización.....</i>	31
2.2.1.3	<i>Módulo de alimentación eléctrica.....</i>	31
2.3	Componentes de la EMA.....	32
2.4	Tarjeta de procesamiento NI MyRIO.....	33
2.5	Selección de las variables meteorológicas.....	34
2.6	Selección de los sensores climáticos.....	34
2.6.1	Requerimientos de los sensores climáticos.....	35
2.6.1.1	<i>Análisis y decisión sensor de temperatura.....</i>	35
2.6.1.2	<i>Análisis y decisión sensor de presión atmosférica.....</i>	36
2.6.1.3	<i>Análisis y decisión sensor de humedad relativa.....</i>	37
2.6.2	Sensor de temperatura LM35.....	37
2.6.3	Sensor de presión atmosférica Vaisala PTB110.....	38
2.6.4	Sensor de humedad relativa HIH 4000.....	40
2.6.5	Consideraciones generales.....	41
2.7	Tratamiento de señal en hardware.....	41
2.8	Reloj de tiempo real.....	42
2.9	Conexión de los dispositivos electrónicos.....	43

2.10	Construcción de circuitos impresos	46
2.11	Sistema de alimentación eléctrica	48
2.11.1	Diseño del sistema de alimentación fotovoltaico.....	48
2.11.2	Panel Solar	51
2.11.3	Batería	51
2.11.4	Controlador de carga	52
2.12	Esquema electrónico del dispositivo tecnológico	53
2.13	Software del Prototipo.....	54
2.13.1	Programación de la tarjeta NI MyRIO 1900.....	54
2.13.1.1	<i>Periodo de lectura y almacenamiento de las variables medidas</i>	61
2.14	Sistema de comunicación y transmisión de datos	62
2.14.1	FileZilla.....	62
2.14.2	WebDAV	64
2.14.3	Bloque de Conexión WebDAV y Servidor FTP.....	64
2.15	Ensamblaje de la estructura	65
2.16	Instalación	66
2.16.1	Estructura	66
2.16.2	Sistema eléctrico	66
2.16.2.1	<i>Panel solar</i>	67
2.16.3	Instrumentación.....	67

CAPÍTULO III

VALIDACIÓN DE PROTOTIPO	69
3.1 Pruebas de adquisición de datos de la estación meteorológica	69
3.2 Pruebas de estabilidad de los sensores de la estación meteorológica automática	70
3.3 Validación del diseño del suministro eléctrico	71
3.4 Pruebas de <i>software</i>	72
3.5 Pruebas de comunicación y almacenamiento de datos	73
3.5.1 Prueba de almacenamiento de datos	75
3.6 Prueba de reloj en tiempo real	76
3.7 Pruebas de conexión mediante Wi-Fi	76
3.8 Pruebas y análisis comparativo con referencia a la Estación Meteorológica Automática M1036 Riobamba Politécnica	78
3.8.1 Análisis comparativo de datos.....	79

3.8.1.1	<i>Pruebas de comparación gráfica de presión atmosférica</i>	79
3.8.1.2	<i>Temperatura y Humedad Relativa</i>	81
3.9	Funcionamiento general de la EMA	89
3.10	Costo del Proyecto	89

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1.	Centros de altas y bajas presiones	12
Figura 1-2.	NI MYRIO1900	33
Figura 2-2.	Sensor de temperatura LM35	36
Figura 3-2.	PTB110	37
Figura 4-2.	HIH-4000	37
Figura 5-2.	Conexión LM35 sin voltaje negativo	38
Figura 6-2.	Conexión sensor de presión PTB110.....	39
Figura 7-2.	Conexión del sensor HIH-4000.....	40
Figura 8-2.	RTC DS3231.....	43
Figura 9-2.	Esquema de conexiones de la placa principal.....	45
Figura 10-2.	Esquema de conexión Placa Temperatura y Placa Humedad.....	45
Figura 11-2.	Placa impresa central.....	47
Figura 12-2.	Placas periféricas de humedad y temperatura.....	47
Figura 13-2.	Modelo 3D de las placas	47
Figura 14-2.	Panel solar	51
Figura 15-2.	Batería.....	52
Figura 16-2.	Controlador de carga solar	53
Figura 17-2.	Esquema de conexiones de la estación meteorológica autónoma	54
Figura 18-2.	Implementación inicial dentro del gabinete.....	67
Figura 19-2.	Rejillas del gabinete.....	68
Figura 1-3.	Panel frontal del programa de supervisión de la estación meteorológica autónoma.....	69
Figura 2-3.	Resultado de la lectura del archivo interno de almacenamiento de datos.....	74
Figura 3-3.	Propiedades de archivo de datos en memoria interna	75
Figura 4-3.	Propiedades de archivo de datos en almacenamiento externo	75
Figura 5-3.	Comparación Reloj interno, reloj del ordenador y reloj externo.....	76
Figura 6-3.	Imagen satelital de la ubicación de la estación meteorológica.....	77
Figura 7-3.	Potencia para cada señal Wi-Fi a una distancia de 25m.....	77
Figura 8-3.	Estación meteorológica M1036 (izq) y prototipo.....	78

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-1.	Relación presión de vapor saturante y temperatura	10
Gráfico 2-1.	Perfil vertical de la presión atmosférica	10
Gráfico 3-1.	Relación entre variables más significativas.	13
Gráfico 4-1.	Tipos de Estaciones meteorológicas convencionales.....	16
Gráfico 5-1.	Componentes de una EMA.....	19
Gráfico 6-1.	Sensores analógicos.....	23
Gráfico 7-1.	Sensores digitales	23
Gráfico 1-2.	Arquitectura de la estación meteorológica automática	30
Gráfico 2-2.	Diagrama de bloques del módulo principal	31
Gráfico 3-2.	Diagrama de bloques del módulo de visualización.....	31
Gráfico 4-2.	Diagrama de bloques del módulo de alimentación eléctrica.	32
Gráfico 5-2.	Curva de operación del sensor HIH-4000.....	40
Gráfico 6-2.	Diagrama de flujo de procesamiento de datos	57
Gráfico 7-2.	Diagrama de bloques caso 0	60
Gráfico 8-2.	Diagrama de bloques caso 1	60
Gráfico 9-2.	Diagrama de bloques caso 2	60
Gráfico 10-2.	Diagrama de bloques caso 3	60
Gráfico 11-2.	Diagrama de bloques caso 4	60
Gráfico 12-2.	Diagrama de bloques del <i>loop</i> de lectura y registro de datos	61
Gráfico 13-2.	Diagrama de flujo de procesamiento de datos	65
Gráfico 1-3.	Comportamiento de medición de la variable presión atmosférica de la estación meteorológica INAMHI y Proyecto.	79
Gráfico 2-3.	Comportamiento de medición de la variable presión atmosférica de la estación meteorológica convencional INAMHI y Proyecto.	80
Gráfico 3-3.	Comportamiento de medición de la variable presión atmosférica de la estación meteorológica convencional y automática INAMHI y Proyecto.	80
Gráfico 4-3.	Comportamiento de las medias de la variable temperatura entre la estación meteorológica INAMHI y Proyecto	84
Gráfico 5-3.	Comportamiento de las medias de la variable humedad relativa entre la estación meteorológica INAMHI y Proyecto.	84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1.	Presión atmosférica en función de la altura sobre el nivel del mar.....	11
Tabla 2-1.	Tipos de Estaciones meteorológicas y las variables que supervisan.....	15
Tabla 3-1.	Comparativa de EMA	17
Tabla 4-1.	Variables meteorológicas que miden las EMA	20
Tabla 5-1.	Comparativa de sensores de temperatura	25
Tabla 6-1.	Comparativa de sensores de humedad relativa.....	26
Tabla 7-1.	Comparativa de sensores de presión atmosférica	26
Tabla 8-1.	Comparativa de Procesadores	27
Tabla 1-2.	Requerimientos mínimos de sensores de la estación meteorológica autónoma.	35
Tabla 2-2.	Características LM35.....	38
Tabla 3-2.	Características Vaisala PTB110.....	39
Tabla 4-2.	Características HIH 4000.....	40
Tabla 5-2.	Consumo eléctrico de dispositivos conectados a voltajes suministrados por MyRIO 1900.....	41
Tabla 6-2.	Conexiones entre los sensores, el RTC y la tarjeta de Desarrollo MyRIO 190043	
Tabla 7-2.	Diagrama de Conexiones entre conectores representantes J2 – J4 y J5 – J9	45
Tabla 8-2.	Diagrama de Conexiones entre conectores representantes J3 – J8 y J1 – J6	45
Tabla 9-2.	Diagrama de Conexiones entre MyRIO y PTB110	45
Tabla 10-2.	Características de las entradas analógicas MyRIO1900.....	46
Tabla 11-2.	Mes crítico de radiación solar	49
Tabla 12-2.	Características del panel solar.....	51
Tabla 13-2.	Características de la batería recargable	52
Tabla 14-2.	Características del controlador de carga solar	53
Tabla 15-2.	Datos muestreados con un minuto de periodo	62
Tabla 1-3.	Datos obtenidos para evaluar la repetitividad de cada sensor.....	70
Tabla 2-3.	Mediciones de temperatura descargadas de las EMA	81
Tabla 3-3.	Mediciones de humedad descargadas de las EMA.....	82
Tabla 4-3.	Estadístico de las EMA, generado por SPSS.....	83
Tabla 5-3.	Pruebas de normalidad.....	85
Tabla 6-3.	Estadísticas de grupo	86
Tabla 7-3.	Prueba de muestras independientes.....	87
Tabla 8-3.	Costos incluido IVA de elementos empleados.	89

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** PLAN DE MANTENIMIENTO PARA ESTACIÓN METEOROLÓGICA.
- ANEXO B:** MANUAL TÉCNICO DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA
- ANEXO C:** PROFORMA DE COMPONENTES ESTACIÓN METEOROLÓGICA
AUTOMÁTICA SIN INCLUIR *DATALOGGER*
- ANEXO D:** TABLA DE DATOS DESCARGADOS DE LA MEMORIA INTERNA.
- ANEXO E:** RED DE ESTACIONES AUTOMÁTICAS HIDROMETEOROLÓGICAS.
- ANEXO F:** HOJAS TÉCNICAS DE LOS ELEMENTOS QUE CONFORMAN LA EMA.

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

OMM:	Organización Meteorológica Mundial
ESPOCH:	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
EMA:	Estaciones Meteorológicas Automáticas
SBC:	<i>Single Board Computers</i>
HMI:	<i>Human Machine Interface</i>
FTP:	<i>File Transfer Protocol</i>
GHCN:	<i>Global Historical Climatology Network</i>
UTC:	Tiempo Universal Coordinado
GOES:	Satélite Geoestacionario Operacional Ambiental
VI:	Instrumento Virtual
INAMHI:	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
MXP:	<i>MyRIO-1900 Expansion Port</i>
MSP:	<i>Mini System Port</i>
LED:	<i>Light-emitting diode</i>
FPGA:	<i>Field Programmable Gate Array</i>

RESUMEN

Se realizó el diseño y construcción de una estación meteorológica autónoma (EMA) e inalámbrica basada en *hardware* embebido que soporte entornos gráficos de programación, que mide temperatura, humedad y presión atmosférica. Esta fue probada junto a la estación de la ESPOCH; cuenta con un panel de control remoto y almacena datos en servidor FTP para mantener un historial climático. El diseño se fundamentó en la elección de las variables meteorológicas a medirse y de los requerimientos de la estación. Se estableció los elementos de *hardware* y *software* necesarios para la adquisición y procesamiento de datos, mediante el análisis de tarjetas de procesamiento en función del tipo de programación, capacidad de procesamiento en paralelo y velocidad de procesamiento. En los sensores se analizó la portabilidad, rango de medición, complejidad de tratamiento de señal, resolución y costo. El sistema de alimentación fotovoltaico se dimensionó en base a un consumo de 33,12Wh y con una autonomía de 41 horas. El sistema de comunicación se establece vía Wi-Fi. El proyecto se diseñó para medir las variables en base a la relación existente entre las variables, para la cual se usan los sensores LM35, HIH-4000 y Vaisala PTB110, respectivamente. El *hardware* empleado es la tarjeta de procesamiento MyRIO1900 y su *software* programado por LabVIEW 2018. Se evaluó los datos obtenidos por la estación diseñada con la EMA M1036 del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) mediante análisis comparativo y se concluye que no existe una diferencia de los datos obtenidos por ambas estaciones. El sistema mantiene el error de los sensores de temperatura y humedad, que son de $\pm 1,4^{\circ}\text{C}$ y $\pm 3,5\%$ respectivamente. El costo total es de \$1104,15. Siendo 30,62% del valor de una EMA de iguales características. Se recomienda para futuras investigaciones añadir sensores según el tipo de requerimiento de estudio o de aplicabilidad.

Palabras Clave: <ESTACIÓN METEOROLÓGICA AUTÓNOMA (EMA)>, <HISTORIAL CLIMÁTICO>, <SERVIDOR FTP>, <TARJETA DE DESARROLLO MYRIO1900>, <VARIABLES METEOROLÓGICAS>, <SISTEMA FOTOVOLTÁICO>, <INGENIERÍA ELECTRÓNICA CONTROL Y REDES INDUSTRIALES>.



-03-2020

SUMMARY

The design and construction of an autonomous and wireless embedded hardware-based meteorological station were carried out that supports graphical programming environments that measure temperature, humidity and atmospheric pressure; This was tested next to the ESPOCH station. It has a remote control panel and stores data on an FTP server to maintain a climatic history. The design was based on the meteorological variables choosing to be measured and the requirements of the station. The necessary hardware and software elements for data acquisition and processing were established, through the analysis of processing cards depending on the type of programming, parallel processing capacity and processing speed. The sensors analyzed portability, measurement range, signal processing complexity, resolution and cost. The photovoltaic power system was dimensioned based on a consumption of 33.12Wh and with an autonomy of 41 hours. The communication system is established via Wi-Fi. The project was designed to measure the variables based on the relationship between the variables, for which the LM35, HIH-4000 and Vaisala PTB110 sensors are used, respectively. The hardware used is the MyRIO1900 data acquisition card and its software programmed by LabVIEW 2018. The data obtained by the station designed with the EMA M1036 of the Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) were evaluated by comparative analysis, and it was concluded that there is no difference between the data obtained by both stations. The system maintains the error of the temperature and humidity sensors, which are ± 1.4 ° C and $\pm 3.5\%$ respectively. The total cost is \$ 1104.15, being 30.62% of the value of an EMA with the same characteristics. It is recommended for future research to add sensors according to the type of study requirement or applicability.

Keywords: < METEOROLOGICAL STATION>, < CLIMATIC HISTORY>, < FTP SERVER (FILE TRANSFER PROTOCOL SERVER)>, <(DATA ACQUISITION CARD) MYRIO1900>, < METEOROLOGICAL VARIABLES>, < PHOTOVOLTAIC SYSTEM>, <ELECTRONIC ENGINEERING, CONTROL AND INDUSTRIAL NETWORKS>.

INTRODUCCIÓN

En el mercado existe una serie de instrumentos que nos permite medir las variables meteorológicas, tales como: temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección del viento, presión atmosférica, precipitación, entre otras... Estas determinan el comportamiento atmosférico de un lugar en un tiempo determinado; las observaciones y medidas se realizan en estaciones meteorológicas ubicadas sobre tierra, mar y a diferentes alturas de la atmósfera, tanto en posiciones fijas como móviles debidamente trazadas. La predicción del clima es de gran importancia en áreas como la agricultura, energías renovables y gestión de energía, así como planes de contingencia en casos de emergencia (FECT, 2004).

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) establece normas de “ubicación y exposición de las estaciones meteorológicas, composición de los programas básicos de observación, horas de observación, equipamiento, verificación o inspección de las estaciones, precisión de las observaciones” (Torres, 2011). Las Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMA) utilizan sistemas de procesamientos de datos en conjunto con un sistema de comunicación, permitiendo el monitoreo en tiempo real. Los componentes de una EMA son: el *Datalogger*, los sensores, sistemas de alimentación de energía, comunicación y transmisión de datos. (Sánchez, y otros, 2015)

El registrador de datos *Datalogger* es un dispositivo de almacenamiento que tiene como principal función el acceso en forma remota al dispositivo, dependiendo de su interfaz, la más utilizada es de USB debido a la compatibilidad de *software* con los diferentes sistemas operativos, otro tipo de interfaz es de Wi-Fi que presenta una desventaja pues depende de un modem, su ventaja es que podemos obtener los datos en tiempo real, también está como interfaz las ondas de radio (JMIndustrial Technology S.A. de C.V., 2017).

En la actualidad, para implementar un dispositivo que tenga la capacidad de obtener una gran cantidad de datos a lo largo del tiempo y de registrar magnitudes físicas, se aplica los sistemas embebidos o SBC (Single Board Computers) que permite acceder a sistemas con capacidad computacional y de almacenamiento a un mínimo costo, utilizando plataformas de desarrollo como Arduino que tiene código abierto en *hardware* y *software* caracterizado por el control y adquisición de datos a través de entradas y salidas analógicas/digitales o tarjetas Raspberry Pi que es un ordenador de placa única (SBC) de bajo coste y funcionalidad avanzada (Larrea, 2016).

En el presente trabajo se desarrolló el diseño y construcción de una estación meteorológica autónoma e inalámbrica basada en *hardware* embebido que soporte entornos gráficos de programación. Se utilizó sensores analógicos de temperatura, presión atmosférica y humedad relativa, además de una tarjeta myRIO que es un dispositivo embebido de la empresa National Instruments, el cual es reconfigurable y cuenta con puertos de Entrada/Salida en ambos lados del dispositivo en forma de conectores MXP y MSP, incluyendo entradas analógicas, salidas analógicas, líneas de E/S digitales, LEDs, un push-button, un acelerómetro interno, un FPGA Xilinx Z-7010 y un procesador dual-core ARM Cortex-A9, incluye también soporte para Wi-Fi. La tarjeta myRIO está diseñada para ser programada en *LabVIEW* o C/C++ en la parte del procesador y con *LabVIEW* en la parte del FPGA. El propósito de National Instruments es que este dispositivo pueda formar parte del plan de estudios para profesores y estudiantes pues cuenta con mucha documentación para aprender, además de tutoriales (NI).

JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

En la actualidad obtener información sobre el comportamiento del clima es relativamente sencillo, debido al empleo de estaciones meteorológicas que permiten obtener un pronóstico del clima mediante la medición y análisis de datos. Dentro del aspecto socio-económico, es de gran importancia obtener un pronóstico meteorológico, con el fin de aplicar medidas de prevención para proteger la vida y propiedad de las personas, así como del sector agrícola. La guía didáctica de Entornos Invisibles Capítulo 9 cuantifica que, en los *Estados Unidos por cada dólar invertido en meteorología, se obtiene una ganancia de 100*, por ejemplo, en la agricultura se puede determinar el mejor tiempo para sembrar o cosechar el campo (Campetella, y otros, 2011).

A nivel mundial existe una amplia gama de estaciones meteorológicas que identifican las condiciones climáticas de una región geográfica. Las estaciones meteorológicas automáticas y los sistemas de satélite en los últimos años han permitido obtener información en tiempo real del comportamiento del clima; el funcionamiento es complejo ya que consta de una gran cantidad de elementos. Las estaciones se emplean para aumentar el número y fiabilidad de las observaciones de superficie con el objetivo de predecir la condición climática a futuro (A remote control system for channel configuration on weather station over TCP/IP network, 2015 pág. 1).

Ecuador tiene una red aproximadamente de 112 Estaciones Meteorológicas Automáticas del INAMHI que se encargan de supervisar las actividades meteorológicas e hidrológicas en el país y dentro de la Provincia de Chimborazo están a cargo de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) y el Instituto de Investigación Geológico y Energético nueve estaciones

meteorológicas automáticas con transmisión GRPS (mediante un enlace serial RS-232) para la medición de temperatura del aire y suelo, velocidad y dirección del viento, radiación solar, pluviosidad y presión barométrica, el propósito principal de estas EMA es recopilar información para medir el recurso energético renovable en la zona (Yumiguano, y otros, 2015).

El estado del arte de este diseño se basa en la selección de sensores accesibles en el mercado apropiados para medir temperatura, humedad y presión atmosférica, de modo que los valores medidos puedan ser reportados a través de una transmisión de datos hacia un interfaz humano máquina (HMI) y almacenados en formato digital. Para el soporte del sistema se utiliza *hardware* embebido que soporta entornos gráficos de programación, con el objetivo principal de ofertar una nueva herramienta para la obtención de datos en las estaciones meteorológicas automáticas.

JUSTIFICACIÓN APLICATIVA

Existe la necesidad de sistemas electrónicos simplificados y confiables que garanticen la obtención de datos precisos ante las variaciones climáticas. Recordando que la predicción del clima es un factor importante para la vida cotidiana de los habitantes y los sectores estratégicos de la economía.

Por ejemplo, en la agronomía el clima es uno de los parámetros más imperativos que determinan el crecimiento de las plantas. Esto se debe a que cada planta es susceptible a ciertas condiciones de crecimiento como la temperatura del aire, la humedad relativa, la temperatura del suelo, el viento, la luz, etc. (Low cost weather station for climate-smart agriculture, 2017 pág. 1).

Por estas razones se propone aportar con un dispositivo electrónico de adquisición de datos meteorológicos, utilizando *hardware* embebido, programado a través de entornos gráficos, cuyos resultados se visualizan en una HMI y se almacenan en FTP para mantener un historial climático.

Mediante la implementación práctica se evidencia el comportamiento experimental frente al teórico, y se evalúa el desempeño en conjunto de la estación meteorológica automática construida con *hardware* embebido, diferente de otras estaciones ya implementadas en el mercado.

Se espera que el desarrollo experimental del proyecto sea un punto de partida para investigaciones futuras como la utilización de más sensores para la medición de nuevas variables climáticas, la utilización de una red de sensores inalámbricos, la utilización de una red de estaciones meteorológicas automáticas, entre otros.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Diseñar y construir una estación meteorológica autónoma e inalámbrica basada en *hardware* embebido que soporte entornos gráficos de programación.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las estaciones meteorológicas automáticas y el tipo de variables más comunes que analizan.
- Seleccionar el *hardware* embebido que cumple con las características para el diseño de una estación meteorológica y los sensores apropiados para la medición de las variables climáticas significativas.
- Establecer los requerimientos de *software* y *hardware* necesarios para el diseño de la estación meteorológica autónoma e inalámbrica basada en *hardware* embebido.
- Construir la estación meteorológica autónoma de acuerdo al diseño establecido.
- Evaluar los resultados del sistema de medición climático construido correlacionando con los datos presentados por la estación meteorológica de la ESPOCH.

METODOLOGÍA

El presente trabajo de titulación se desarrolló aplicando las siguientes técnicas:

- **Revisión bibliográfica:** se recopiló la información general y fichas técnicas de estaciones meteorológicas, sensores y de otros proyectos de titulación para la sustentación del primer objetivo planteado.
- **Selección:** Se seleccionó los dispositivos electrónicos que cumplen con el requerimiento de *hardware* embebido y los sensores que midan las variables climáticas más comunes.
- **Fichaje:** se evaluó experimentalmente el desempeño de la EMA con *hardware* embebido ante los distintos escenarios climáticos que se presentaron.

Y los siguientes métodos:

- **Inductivo – Deductivo:** tras la recolección de los resultados entregados por la estación meteorológica automática, estos datos fueron analizados y evaluados para comprobar la funcionalidad del proyecto ante distintos escenarios climáticos.
- **Comparativo:** Se realizó la comparación de resultados, mediante la utilización de gráficas entre el proyecto y la EMA del INAMHI ubicada en la ESPOCH.

Este documento contiene tres capítulos, en cumplimiento de los objetivos planteados durante el desarrollo del trabajo de titulación. La evidencia documental muestra en el primer capítulo la revisión bibliográfica o marco teórico referencial, el segundo capítulo contiene el marco metodológico del diseño y construcción de la EMA y el tercer capítulo presenta los resultados y el análisis de la eficiencia del proyecto, para llegar a abordar conclusiones y recomendaciones del trabajo de titulación.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

El presente capítulo recopila la información bibliográfica preliminar, fundamental para el diseño y construcción del trabajo de titulación. Esta información permite identificar las EMA y sus variables básicas, seleccionar el hardware embebido con entornos gráficos de programación disponible y los sensores aptos para medir las variables identificadas.

1.1 Antecedentes

El conocer la conducta meteorológica de todos los lugares del planeta ha conllevado a realizar grandes esfuerzos por predecir el clima de un lugar determinado basándose en el análisis de patrones y comportamiento de las variables meteorológicas por medio de la implementación de sistemas de medición, esta información es utilizada en disciplinas como la agronomía y la hidrología. *Global Historical Climatology Network (GHCN)* es una base de datos voluntaria de la comunidad mundial que trabaja con la información que cada país contribuye libremente; ellos deciden la cantidad de información que ingresan a la GHCN de toda aquella que recaban. Sin embargo, los datos no son completos ni actualizados es por esto que sus tablas deben tomarse solo como referencia (Participación de América Latina y del Caribe en los registros globales climatológicos, ghcn, 2006).

Los instrumentos de observación que recopilan toda esta información pueden variar según su funcionalidad dentro de las cuales tenemos las estaciones meteorológicas convencionales o automáticas, que permiten medir la presión, viento humedad, precipitación, temperatura, radiación solar, etc. El funcionamiento de estos equipos deben cumplir ciertos requerimientos desde su ubicación, variables y tiempo de medición, el mismo que es regulado a nivel internacional por la Organización Mundial Meteorológica (OMM) que establece las horas fijas en las cuales las estaciones meteorológicas climáticas deben realizar las observaciones como 12:00, 18:00 y 24:00 UTC (tiempo universal coordinado) y se caracterizan por ser obligatorias para de esta forma mantener la consistencia y la calidad de los datos que se incorporan a las bases históricas (Guzmán, y otros, 2015).

La Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas en el año 2015 desarrolló un sistema de adquisición de datos meteorológicos en tiempo real empleando un PLC (modelo CX1020, marca *Beckhoff*), una laptop donde se instaló una aplicación de monitoreo en tiempo real desarrollado en *Visual Basic 2010 Express* y la base de datos en *MySQL* para almacenar la información, además de un

sistema de comunicación Wi-Fi entre el PLC y la aplicación de monitoreo. Se aplicaron los programas *TwinCAT System Manager* (para la configuración del *hardware*) y *TwinCAT PLC Control* (para la programación del PLC).

Los resultados indican que es factible el uso del PLC en la implementación de estaciones meteorológicas. El sistema de adquisición de datos meteorológicos registra de manera eficiente la lectura de los elementos meteorológicos: temperatura, humedad, radiación, precipitación, velocidad y dirección del viento, por lo que constituye una alternativa a una estación meteorológica (Guzmán, y otros, 2015).

En (Universitat Oberta de Catalunya, 2016) se diseñó e implementó una estación meteorológica con *Raspberry Pi* (ordenador funcional de reducidas dimensiones que es capaz de ejecutar un sistema operativo, encargándose de adquirir datos, procesarlos y presentarlos) con el objetivo de obtener las señales de los sensores, estableciéndose funciones en *Python* mediante el uso de un programa principal que controla el lanzamiento y almacenaje en un servidor *MySQL*. Los datos se muestran en un servidor *APACHE* el cual soporta una página web donde se muestra una base de datos obtenidos por los sensores.

En el artículo de la 6ta Conferencia de Sistemas de Telecomunicaciones, Servicios y Aplicaciones del año 2011 se presentó el diseño e implementación de una unidad terminal remota en una estación meteorológica de mini monitoreo basada en un microcontrolador con comunicación Maestro - Esclavo. Para lo cual utiliza dos microcontroladores, un *ATMega8535* como esclavo, el cual adquiere las señales de los sensores de temperatura y velocidad del viento; y un *ATMega128L* como maestro para recopilar la información, presentarla en una pantalla LCD, enviar órdenes al esclavo a través de un teclado y con la capacidad de entregar la información recopilada a través de comunicación RS-232. Obteniendo una mini estación meteorológica con la posibilidad de añadir otros microcontroladores en modo esclavo (Design and implementation of Remote Terminal Unit on Mini Monitoring Weather Station Based on Microcontroller, 2011).

El Ecuador cuenta con el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) que recopila y produce información fundamental para emitir alertas tempranas que pueden salvar muchas vidas, reducir los daños materiales y proteger el medio ambiente. Utiliza estaciones meteorológicas automáticas de tecnología Vaisala, su función principal es medir y almacenar datos del clima, enlazarse con la estación central de datos, con el fin de mantener un registro centralizado de las mediciones hidrometeorológicas. Estos equipos son de tecnología importada. Tiene una red aproximadamente de 112 Estaciones Meteorológicas Automáticas.

Dentro de los proyectos realizados en la ESPOCH están la implementación de una Estación Meteorológica Portátil mediante *drone* y la implementación de un sistema de monitoreo climatológico vía GPRS para la automatización de calibración del anillo del piranómetro en la Estación Meteorológica.

Los proyectos descritos han trabajado con sistemas de procesamiento habituales como ARDUINO, PLC o *Raspberry Pi*, pero ninguno ha abordado la temática de este proyecto de titulación, cuyo objetivo principal es la utilización de hardware embebido basado en entornos gráficos de programación en este tipo de dispositivos tecnológicos, empleando por ende un entorno de programación diferente y mayores opciones de ampliación a futuro superando de vasta manera a las investigaciones mencionadas en párrafos anteriores las cuales operan a tope de capacidad o con una reserva pequeña de capacidad, y en varios casos sin la opción de ingresar a programación en bajo nivel como si sucede en la presente investigación.

1.2 Variables meteorológicas

Son las propiedades y condiciones de la atmósfera, definidas por el estado del tiempo o del clima. Dentro de las variables o parámetros meteorológicos tenemos:

1.2.1 Temperatura

Es una magnitud que mide el nivel térmico de un cuerpo o de la atmósfera. Se relaciona con la rapidez de las partículas en movimiento, a mayor agitación de estas aumentará la temperatura. La temperatura ambiental puede variar dependiendo del horario, estación del año, ubicación geográfica entre otras. El instrumento que mide la temperatura es el termómetro expresado en la escala Celsius (°C) o en la escala Fahrenheit (°F) que se usa regularmente en Estados Unidos de América.

La temperatura ambiente en superficie debe ser medida en un lugar donde no interfiera factores externos (como superficies, viento o radiación solar) ya que obtendríamos valores errados o valores correspondientes a dichos factores. La Organización Meteorológica Mundial especifica los requisitos que debe cumplir el lugar donde se colocara los termómetros con el objetivo de obtener valores estándar que permitirán ser comparados tanto a nivel mundial como local.

El lugar donde se colocarán los termómetros debe estar ventilado, protegido de la precipitación y la radiación solar directa además debe estar a una altura de 1m sobre el nivel del suelo para evitar que la energía que absorbe la tierra durante el día no modifique las medidas. La presentación de datos puede mostrarse como temperaturas cada hora (dependiendo de la

petición del interesado), máximas y mínimas diarias (tomándose 24 valores por cada hora), promedios diarios (se hace el promedio de los 24 valores cada hora), semanales, mensuales y anuales (se expresa como máximas y mínimas o medianas), en definitiva de acuerdo a las necesidades de cada aplicación (FECT, 2004) (IDEAM , 2018) (Meteoblue weather, 2016-2018).

1.2.2 *Humedad Relativa*

Es la cantidad de vapor de agua que contiene el aire, esta varía dependiendo de factores como lluvia, msnm, vegetación, etc. El contenido de humedad de la atmosfera se expresa como humedad absoluta [masa de vapor (g)/1m³ aire seco], humedad específica [masa de vapor (g)/1kg aire seco], no obstante, la medida frecuentemente utilizada es la denominada humedad relativa, expresada en porcentaje (%), se calcula mediante la Ecuación (1-1):

$$HR = \left(\frac{e}{E} \right) 100 \quad (1-1)$$

Dónde:

e = contenido de vapor de la masa de aire o presión de vapor saturado en el punto de rocío (g/m³)

E = máxima capacidad de almacenamiento de vapor de agua contenido en una masa de aire, antes de convertirse en líquido (saturación) o presión de vapor de saturación a la temperatura del aire (g/m³)

La humedad relativa indica la cantidad de agua que se transporta por el aire, para determinar el proceso de formación de las nubes y el factor precipitación. Este depende de la temperatura y la presión del volumen de aire. El punto de rocío es la temperatura del aire, en donde un volumen específico de aire a presión constante condensa el vapor de agua a agua líquida con la misma velocidad que se evapora (FECT, 2004) (IDEAM , 2018).

Cuando la humedad relativa alcanza el 0% indica aire completamente seco y 100% indica que la masa de aire no puede almacenar más vapor de agua y una cantidad extra se convertiría en agua líquida o en hielo, dependiendo de las condiciones ambientales. En el Gráfico 1-1 demuestra que la variación de presión de vapor saturante (E) en función de la temperatura (T), tiende a crecer exponencialmente, es decir, entre “*más caliente esté la masa de aire, mayor cantidad de vapor de agua se necesitará para llegar al punto de saturación y empezar así a producirse la condensación del vapor sobrante*” (FECT, 2004).

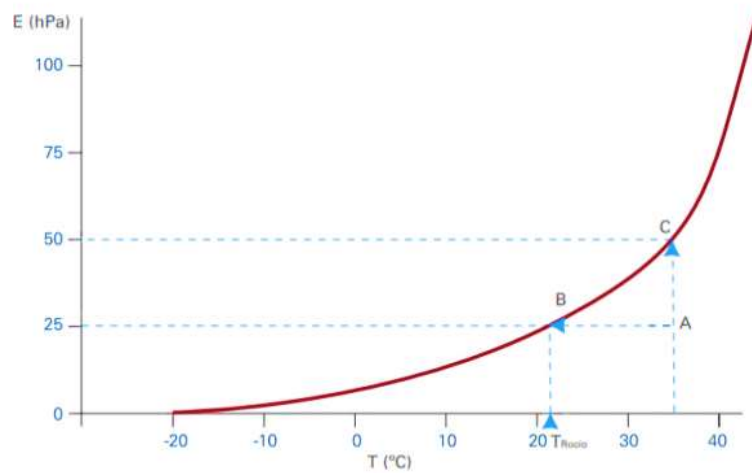


Gráfico 1-1. Relación presión de vapor saturante y temperatura
Fuente: (FECT, 2004).

1.2.3 Presión atmosférica

Es la fuerza de la atmósfera aplicada sobre la superficie de la Tierra, se mide en atmósferas (atm), mm de mercurio (mm Hg), pascales (Pa), hectopascales (hPa), milibares (mbar), Torricelli (torr). Esta depende de la altitud, así como de la situación geográfica, la temperatura, la humedad y condición meteorológica. A mayor altitud, menor cantidad de aire y menor presión. La presión de aire ejerce un efecto en la disponibilidad de oxígeno y punto de ebullición del agua (a mayor altitud menor temperatura de ebullición), además de la formación de nubes y convección (FECT, 2004).

En el Gráfico 2-1.y en la Tabla 1-1 se aprecia el descenso de la presión atmosférica con la altura.

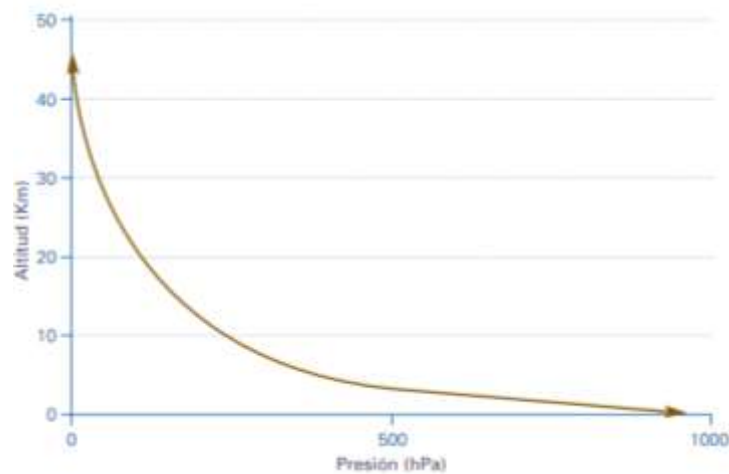


Gráfico 2-1. Perfil vertical de la presión atmosférica
Fuente: (FECT, 2004)

Tabla 1-1. Presión atmosférica en función de la altura sobre el nivel del mar

Altitud	Presión Atmosférica		
	[Metros]	[Milibares o hPa]	[mm de Hg]
0,000	1013,000	760,000	1,000
200,000	989,000	742,000	0,977
400,000	966,000	725,000	0,953
600,000	943,000	707,000	0,931
800,000	921,000	691,000	0,909
1000,000	899,000	674,000	0,887
1200,000	877,000	658,000	0,866
1400,000	856,000	642,000	0,845
1600,000	835,000	626,000	0,824
1800,000	815,000	611,000	0,804
2000,000	795,000	596,000	0,785
2200,000	775,000	582,000	0,765
2400,000	756,000	567,000	0,746
2600,000	737,000	553,000	0,728
2800,000	719,000	539,000	0,710
3000,000	701,000	526,000	0,692
3200,000	683,000	513,000	0,674
3400,000	666,000	500,000	0,657
3600,000	649,000	487,000	0,641
3800,000	633,000	475,000	0,624
4000,000	616,000	462,000	0,608
4200,000	600,000	450,000	0,593
4400,000	585,000	439,000	0,577
4600,000	570,000	427,000	0,562
4800,000	555,000	416,000	0,548
5000,000	540,000	405,000	0,533
5200,000	526,000	394,000	0,519
5400,000	512,000	384,000	0,505
5600,000	498,000	374,000	0,492
5800,000	485,000	364,000	0,479
6000,000	472,000	354,000	0,466

Fuente: (Sánchez, 2020)

Realizado por: Darquea, José, 2020.

Una de las variables que mayor información nos proporciona a la hora de conocer una situación meteorológica es la presión atmosférica, cuyos valores sobre la superficie terrestre quedan representados en los denominados mapas de isobaras, como los que aparecen diariamente en los medios de comunicación. Las isobaras, o líneas que unen puntos de igual presión, nos dan idea de la intensidad del viento (a mayor proximidad entre isobaras, mayor intensidad), así como de

su procedencia. De este modo puede saberse si va a llegar aire frío del Polo o si, por el contrario, va a ser cálido del desierto, húmedo del océano, o seco del continente.

Cuando en un mapa de isobaras, Figura 1-1., existe una zona en la que la presión es más alta que a su alrededor, entonces aparece una “A” y decimos que hay un anticiclón. En esta zona la estabilidad atmosférica será alta, puesto que el movimiento del aire es descendente evitando la formación de nubosidad, y difícilmente lloverá. Si por el contrario la presión empieza a decrecer, en el punto en el que alcanzan su valor mínimo aparece una “B” y decimos que hay una zona de baja presión o depresión. En este caso habrá mayor inestabilidad y si se dan otra serie de condiciones podría llover fácilmente. Cuando una zona de bajas presiones va acompañada de tiempo muy lluvioso y con viento intenso podemos llamarla borrasca.



Figura 1-1. Centros de altas y bajas presiones

Fuente: (FECT, 2004).

1.2.4 Precipitación

Es el fenómeno meteorológico, donde, el agua se condensa en forma de lluvia, nieve, granizo y rocío. Este se produce cuando el vapor de agua cambia de fase al ascender a la atmósfera; el vapor de agua se enfría alcanzando la saturación. La precipitación se presenta en tres formas:

- **Convectiva** “cae en forma de lluvia/llovizna con un rápido cambio en la intensidad y una zona determinada durante un período relativamente corto de tiempo, debido a que las nubes convectivas limitan la extensión horizontal”
- **Orográfica** “cae cuando las masas de aire impulsado por el viento se ven obligadas a subir a lo largo de las laderas de las formaciones terrestres altas, como montañas”
- **Estratiforme** “causada por los sistemas frontales (principalmente de aire frío), que por lo general distribuyen la lluvia uniformemente sobre un área mayor”

La precipitación se expresa en milímetros (mm) de agua durante un intervalo de tiempo, es decir, milímetros por hora. El instrumento de medición es el pluviómetro que mide la

precipitación caída en una determinada área. Está formado por un recipiente graduado en forma de embudo profundo, en donde el agua de lluvia se acumula.

Existen factores que se debe considerar para la correcta medición de la precipitación; el pluviómetro tiene bordes biselados para evitar las salpicaduras de agua lluvia sobre el borde exterior, de color blanco para reducir la absorción de radiación solar y evitar la evaporación, la colocación no debe ser junto a edificios o cualquier otro impedimento que perturbe la caída de la precipitación. En las zonas montañosas donde es frecuente la caída de nieve o que las temperaturas desciendan se incluye en el recipiente cloruro cálcico anhidro con el objetivo de reducir la solidificación del agua.

Existe una pequeña cantidad de estaciones meteorológicas que miden la precipitación, debido a la dificultad de comprobación de datos a corto plazo, además la medición es diferente puesto que algunas estaciones obtienen datos cada hora o cada tres horas o dos veces al día como en la mañana o tarde e incluso una vez por día, impidiendo la comparación de datos. En conclusión, para comprobar la cantidad de precipitación se necesitaría de una red de estaciones confiables, cobertura de superficie y un control detallado, lo que consume mucho tiempo y no permite la actualización automática (IDEAM , 2018) (Meteoblue weather, 2016-2018).

1.3 Relación entre variables climáticas.

Realizamos un análisis de relación entre las variables para determinar las variables más significativas para medir en este prototipo. Este análisis se observa en el Gráfico 3-1.

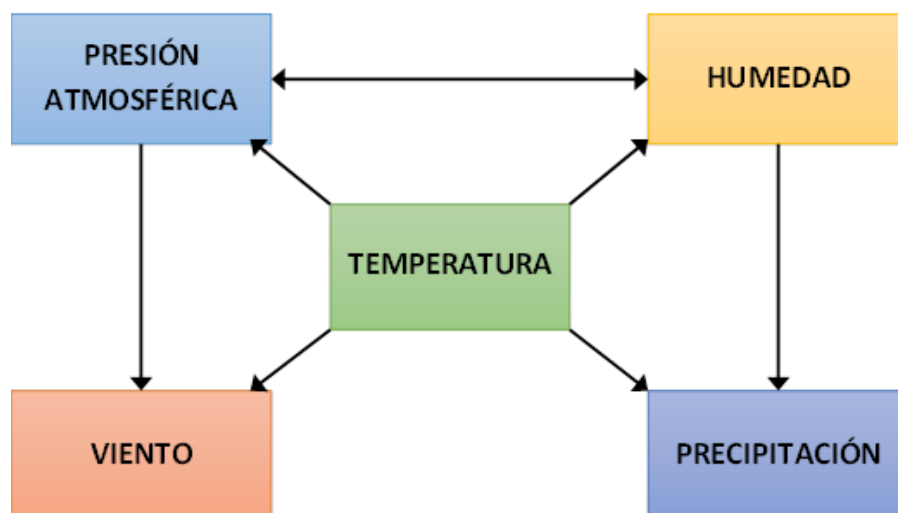


Gráfico 3-1. Relación entre variables más significativas.

Fuente: (FECT, 2004)

Realizado por: Darquea, José. 2020

- **Temperatura** Es una de las magnitudes más utilizadas para describir el estado de la atmósfera. Por lo general esta variable es expuesta en los medios de comunicación como información prioritaria.
- **Presión atmosférica** Esta depende de otras variables como la altitud, temperatura y humedad que son sus principales condicionantes. La relación que existe entre la presión atmosférica y el tiempo en un lugar hace de ésta una variable fundamental.
- **Viento** En la atmósfera, existe una relación directa entre presión y viento, lo que hace que los mapas de isobaras, que representan los valores de la presión atmosférica, contengan amplia información sobre la velocidad y dirección del viento. Sólo requiere saber interpretarlos. Existen diversas causas que pueden provocar la existencia del viento, pero normalmente se origina cuando entre dos puntos se establece una cierta diferencia de presión o de temperatura.
- **Humedad** En la atmósfera el principal componente es el agua y puede existir en tres estados (gas, líquido y sólido), su presencia se debe a las condiciones físicas (temperatura y presión) necesarias para que se produzcan dichos cambios de estado se den normalmente en la atmósfera. La humedad relativa nos da una idea de lo cerca que está una masa de aire de alcanzar la saturación, es decir alcanzara la precipitación.
- **Precipitación** Procede del cambio de estado del vapor de agua de una masa de aire que, al ascender a la atmósfera, se enfría hasta llegar a la saturación. Para que una masa de aire alcance la saturación es preciso que cumpla dos condiciones: la primera es que la masa de aire se haya enfriado lo suficiente, y la segunda es que existan en el aire núcleos de condensación sobre los que puedan formarse gotitas de agua (FECT, 2004).

1.4 Estaciones meteorológicas

Es un equipo destinado a medir y registrar el comportamiento de la atmósfera y el medio ambiente a través de las variables meteorológicas (temperatura del aire y del suelo, humedad del aire, viento, radiación solar, evaporación y precipitación) en un tiempo determinado; los datos obtenidos permiten elaborar predicciones a partir de modelos numéricos. Estas están constituidas por componentes como sensores aéreos, consola y *software*, además de instrumentos de medición como termómetro (que mide la temperatura), barómetro (que mide la presión atmosférica), higrómetro (que mide la humedad), anemómetro (que mide la velocidad del viento), veleta (que señala la dirección del viento), piranómetro (que mide la radiación solar).

1.4.1 Elementos climáticos de las estaciones meteorológicas de la superficie

“A veces es necesario poner en funcionamiento una estación para observar uno o un subconjunto de estos elementos, especialmente cuando la topografía es variada” (Organización Meteorológica Mundial, 2018). En la Tabla 2-1 se presentan los elementos climáticos de superficie y subsuperficie más comunes que se observan en diversas redes o tipos de estaciones.

Tabla 2-1. Tipos de Estaciones meteorológicas y las variables que supervisan.

Elemento	Estación Climática Ordinaria	Estación climática principal	Estación marina	Estación hidro-meteorológica	Estación agro meteorológica	Estación Urbana
Temperatura del aire	x	x	x		x	x
Temperatura del suelo					x	
Precipitación	x	x	x	x	x	x
Tiempo		x	x		x	x
Nubosidad		x	x		x	x
Presión		x	x		x	x
Visibilidad		x	x		x	x
Humedad		x	x		x	x
Viento		x	x		x	x
Radiación solar		x			x	x
Insolación		x				
Evaporación				x	x	x

Fuente: (Organización Meteorológica Mundial, 2018)

Realizado por: Darquea, José. 2020

1.4.2 Estaciones meteorológicas convencionales.

Es una estación que está constituida por instrumentos convencionales, donde la variable meteorológica es convertida en un movimiento mecánico que hace desplazar una plumilla sobre una banda de papel que se avanza continuamente por un sistema de relojería, y genera una gráfica (Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, 2017).

1.4.2.1 Tipos de estaciones meteorológicas convencionales

El estudio del comportamiento del clima es muy útil para diferentes áreas de interés y de acuerdo a ello existen estaciones meteorológicas específicas para cada área de interés y aplicación. Estos tipos de estaciones meteorológicas se muestran en el Gráfico 4-1.

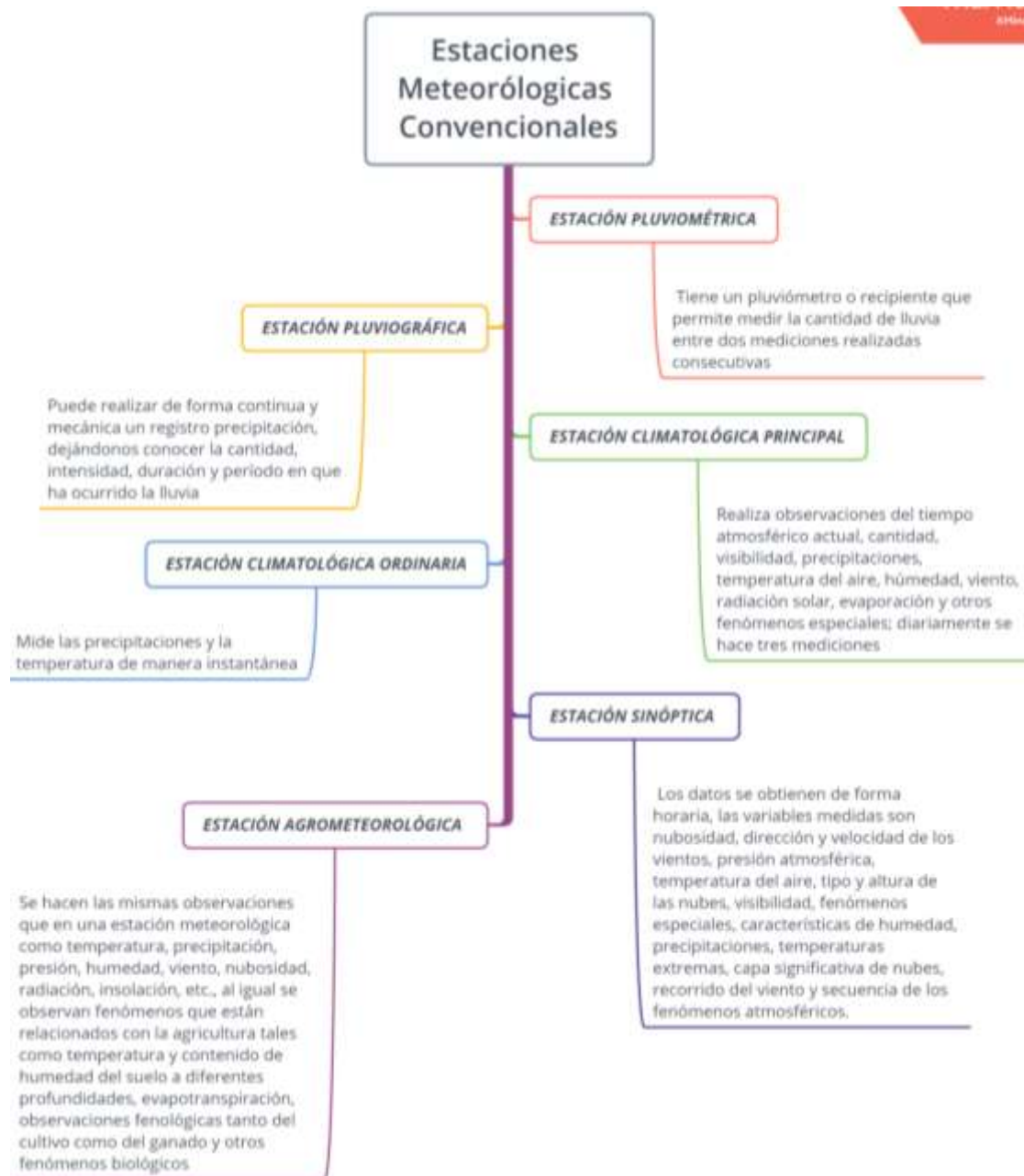


Gráfico 4-1. Tipos de Estaciones meteorológicas convencionales

Fuente: (Villalta, y otros, 2013) (Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, 2017)

Realizado por: Darquea, José, 2019

1.4.3 Estaciones meteorológicas automáticas (EMA)

El propósito de estas estaciones meteorológicas automatizadas es el registro de datos en forma continua y autónoma, permitiendo realizar mediciones ambientales en intervalos de tiempo mucho menores que obtenidos de forma manualmente (Villalta, y otros, 2013). Están basadas en instrumentos electrónicos, con registro en memoria sólida y sensores, donde el parámetro meteorológico es convertido en una señal eléctrica.

1.4.3.1 Tipos de estaciones meteorológicas automáticas



Existen diferentes tipos de EMA según las necesidades; desde las más simples que solo captan datos, hasta las más completas que poseen aplicaciones en investigación. A las EMAs es posible agruparlas, sin que ello sea taxativo y concluyente, según:

- **EMA en tiempo real:** proveen datos, en tiempo real, generalmente a intervalos programados en función del tipo de estación meteorológica; como ejemplo es posible citar el monitoreo de altura de ríos y/o tormentas.
- **EMA fuera de línea:** captura los datos y los almacena en un sitio prefijado, y requiere la intervención de un operador para el envío a potenciales usuarios en forma remota; son las más típicas en uso.

1.4.3.2 Estaciones meteorológicas automáticas existentes en el mercado

Existe una diversidad de modelos de estaciones meteorológicas automáticas, elegir una de estas implica primero determinar la utilidad (agrícola, marítima, aérea, de construcción, turística) y luego en la predicción del clima o en los estudios sobre cambio climático en el mundo. A continuación en la Tabla 3-1 se describen cuatro estaciones comerciales.

Tabla 3-1. Estaciones meteorológicas y sus características

EMA	Descripción	VARIABLES DE MEDICIÓN
¹ VOLTCRAFT 	Estación pre-ensamblada de uso no profesional con transmisión inalámbrica y conexión a internet vía Wi-Fi	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dirección y velocidad del viento ▪ Temperatura ▪ Humedad ▪ Precipitación ▪ Índice UV ▪ Luminosidad
² MISOL Wireless 	Su funcionamiento es bastante sencillo y práctico, debe ser programado con instrumentos analógicos. Su funcionalidad es para 6 sensores.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Temperatura ▪ Humedad ▪ Velocidad del viento

¹ https://www.proviento.com.ec/estaciones_ambient.html

² <https://instrumentosmeteorologicos.com/misol/misol-wireless/>

<p>³Excelvan 2020</p> 	<p>Permite su transporte cómodo dentro de la oficina o en el hogar, ya que su sensor es capaz de transmitir mediante ondas inalámbricas sin necesidad de cableado.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Temperatura ▪ Humedad
<p>⁴Vaisala AWS310</p> 	<p>El sistema Vaisala AWS310 es la solución ideal para aplicaciones profesionales, útiles para la investigación meteorológica sinóptica y climatológica hasta hidrología y meteorología urbana.</p>	<p>Recolección de datos general:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Temperatura de funcionamiento ▪ Temperatura de almacenamiento ▪ Humedad <p>Opciones de sensores pre configurados:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Velocidad y dirección del viento ▪ Presión atmosférica ▪ Temperatura del aire, humedad relativa y punto de rocío ▪ Precipitación ▪ Radiación solar global ▪ Visibilidad ▪ Altitud ▪ Temperatura del suelo ▪ Humedad del suelo ▪ Altura de la nieve
<p>⁵WatchDog</p> 	<p>Estación meteorológica profesional se usa, en la agricultura, jardinería industria y en el sector de la investigación. Se puede extender hasta 6 sensores más</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dirección y velocidad del viento ▪ Temperatura ▪ Humedad Relativa ▪ Pluviosidad

Realizado por: Darquea, José, 2020

1.4.3.3 Requerimientos de las EMA

Una EMA es una instalación eléctrica y mecánica conformada por un grupo de sensores que registran y transmiten datos de las variables meteorológicas de forma automática, de acuerdo al requerimiento y capacidad del dispositivo. (Gobierno Mexicano, 2018)

³ <https://instrumentosmeteorologicos.com/excelvan/excelvan-5060/>

⁴ <https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/WEA-MET-AWS310-Brochure-210x280-B211290ES.pdf>

⁵ <https://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/logger-de-datos/logger-datos-watchdog-500.htm>

- **Componentes de una Estación Meteorológica Automática (EMA)**

De la literatura especializada y las EMA en el mercado, se resaltan sus componentes y estos se muestran en el -1.



Gráfico 5-1. Componentes de una EMA

Fuente: (Instituto de Investigaciones Agropecuarias, 2006)

Realizado por: Darquea, José, 2018.

- Datalogger:** unidad electrónica responsable de registrar de forma sistemática la información obtenida por los sensores.
- Sensores:** dispositivos electrónicos con la capacidad de transformar una determinada variable en un impulso eléctrico el cual es registrado, interpretado y mostrado como un valor. Comúnmente una estación meteorológica tiene sensores de velocidad y dirección del viento, presión atmosférica, temperatura y humedad relativa, radiación solar y precipitación.
- Sistema de alimentación de energía:** módulo que permite proveer la energía necesaria para el funcionamiento de la estación meteorológica. La energía eléctrica puede ser alterna (110/220V), o continua por medio de baterías de acuerdo al voltaje requerido por los equipos. Se emplea paneles solares de funcionamiento autónomo cuando la estación se encuentra en lugares apartados, procurando obligatoriamente que el sistema de alimentación de energía eléctrica cumpla con la demanda de energía total de la estación.
- Sistema de comunicación y transmisión de datos:** gestiona los datos desde el *Datalogger* a un servidor o computadora generando una base de datos histórica. La comunicación puede ser directa computador – *datalogger*; vía red telefónica fija el cual requeriría de un módem (interno) junto al computador que se comunique con el módem (externo) del *datalogger*; vía telefonía móvil la cual al igual que la fija necesita de un módem; ondas de radio, para lo cual se requiere de antenas que permitan cubrir las condiciones topográficas del lugar; o por satélite (Instituto de Investigaciones Agropecuarias, 2006).

- **Requerimientos de medición de las estaciones meteorológicas**

A partir de la documentación recopilada y las EMA disponibles en el mercado, se puede encontrar que dichas EMA cumplen con requerimientos básicos y avanzados de medición. Estos se muestran en la Tabla 4-1.

Tabla 4-1. Variables meteorológicas que miden las EMA

Básicas	Avanzadas
Temperatura	Nubosidad
Humedad Relativa	Temperatura del suelo
Presión atmosférica	Evaporación
Dirección e intensidad del viento	
Precipitación	
Radiación Global	

Realizado por: Darquea, José, 2020.

1.4.3.4 *Requerimientos del datalogger para estaciones meteorológicas automáticas*

El *datalogger* debe desempeñar como mínimo las siguientes especificaciones:

Hardware

- Procesador.
- Memoria en RAM.
- Convertidor A/D por cada puerto requerido.
- Almacenamiento de datos en la memoria interna.
- Puertos de comunicaciones.
- Puerto para descargar información y configuración de la plataforma en sitio.
- Entradas análogas configurables por software para sensores de tipo análogo. Los puertos deben permitir ser configurados por software para la lectura de sensores con salidas de voltaje, corriente, protocolo, resistencia, entre otros.
- El suministro de energía para la plataforma de recolección de datos debe ser alimentada por un sistema compuesto de panel solar, regulador electrónico y batería.
- El Datalogger debe contar con un reloj en tiempo real de precisión.
- Protección contra descargas eléctricas y otras corrientes inducidas. El Datalogger debe constar de un sistema de descarga a tierra.
- Display opcional integrado que permita visualizar los datos en campo (López Antón, y otros, 2016).

Interfaz de sensores

- Capacidad de hardware y software para recibir y configurar sensores analógicos, digitales e inteligentes permitiendo toda su funcionalidad y ajustando la adquisición de datos por el Datalogger mediante el canal de transmisión del sensor.

- Las entradas de los sensores deben tener varistores para protección de transientes inducidos.
- Los intervalos de muestreo de los sensores deben ser los adecuados de tal manera que se obtenga la exactitud digital deseada.
- Los sensores pueden muestrear una vez en el intervalo dado por la constante de tiempo del sensor.
- El Datalogger permite configurar de forma independiente cada entrada de sensor considerando sus parámetros de medición y sus constantes de calibración, además puede proveer de voltajes de salida para la alimentación energética de sensores y periféricos.
- Para las entradas de medición resistiva, corriente y voltaje de referencia, el Datalogger permite la compensación de cualquier inexactitud por configuración del usuario (López Antón, y otros, 2016).

Ambientales

- Temperatura de operación entre -25°C a $+60^{\circ}\text{C}$.
- Debe soportar la humedad relativa del aire de 5% a 95%.
- Protección contra interferencias electromagnéticas y descargas electrostáticas standard.
- Cumplimiento con la norma IEC 61000-4-3. Inmunidad a campos de radio frecuencia.
- Cumplimiento con la norma IEC 61000-4-4. Inmunidad a transitorios eléctricos rápidos.
- Cumplimiento con la norma IEC 61000-4-5. Sobrevoltaje.
- Protocolo de protección IP45 (López Antón, y otros, 2016).

Sistema operativo y software

- El Datalogger en sus funciones de adquisición, procesamiento, transmisión y almacenamiento de datos debe operar las 24 horas sin requerir un operador, configurable por el usuario y proporcionar a la interfaz toda la funcionalidad necesaria para la adición y parametrización de sensores y periféricos disponibles.
- El sistema tiene que soportar algún protocolo como TCP/IP, FTP, HTTP, SMTP, Telnet u otro para la exportación de datos y los formatos de salida estándar pueden ser en XML, binario, pseudo-binario, ASCII, CSV, etc. El Datalogger debe poseer comandos intuitivos y fácilmente programables (López Antón, y otros, 2016)

1.4.3.5 Requerimientos para la transmisión y adquisición de datos en estaciones meteorológicas automáticas

- Compatible en *hardware* y *software* con transmisores de comunicaciones, teniendo un periodo de transmisión y horario.

- Los datos se deben enviar de forma automática a intervalos definidos por el interesado.
- Obtención de datos en cualquier momento o de manera programada y simultánea con otras estaciones.
- Soporte de adquisición programada, de datos remota y cuando se presente una emergencia.
- Los parámetros son configurados por el interesado, los datos obtenidos por los sensores deben garantizar los rangos y variabilidad entre medidas. Además, los sensores deben tener un control funcional evitándose así el almacenamiento y transmisión de datos errados (López Antón, y otros, 2016).

1.4.3.6 Requerimientos para el sistema de alimentación eléctrica en estaciones meteorológicas automáticas.

Este sistema debe contar con un suministro eléctrico autónomo, continuo y permanente, el uso de energía para estaciones remotas es mediante baterías cargadas mediante módulos solares. El sistema de alimentación debe cumplir con las siguientes especificaciones: la batería cubrirá el funcionamiento básico de la estación cuando no exista el suministro necesario de energía por parte del panel solar, por su parte las conexiones de alimentación eléctrica del *Datalogger* y periféricos deben tener un sistema de regulación de voltaje y carga para prevenir daños accidentales al sistema.

El panel solar debe poseer una potencia mínima para abastecer de energía de manera correcta e ininterrumpida tanto a los dispositivos electrónicos como a la batería para su proceso de carga, siendo el mismo resistente a la intemperie además de vientos (López Antón, y otros, 2016).

1.5 Elementos electrónicos de las EMA

Las EMA obtienen los datos de las variables meteorológicas a través de elementos electrónicos denominados sensores o transductores, de los cuales existe una gran variedad:

- Velocidad de viento: anemómetros de cazoletas, hélices o sónicos.
- Dirección de viento: veletas potenciométricas, anemómetros sónicos.
- Radiación solar: piranómetros de fotocélula de silicio o termopila, sensores de PAR, radiómetros netos.
- Temperatura (agua, aire, suelo): termistores, termopares o RTDs.
- Humedad Relativa: sensores resistivos o capacitivos.
- Precipitación: pluviómetros de cazoletas basculantes o de pesada.
- Grosor de nieve: sensor de distancia ultrasónico.

- Presión Barométrica: tecnología de cuarzo resonante.
- Humedad de suelo: bloques de humedad, tensiómetros con salidas analógicas o reflectómetros.
- Combustible forestal: Termistor y reflectómetro en varilla de pino de ponderosa.

Otros sensores que pueden utilizarse en las estaciones meteorológicas: Calidad de agua; Humectación de hoja; Flujo de calor; Conductividad de agua. (Campbell Scientific)

Todos los instrumentos de medición directos, según su forma en que indican la información se clasifican en:

- a. Instrumentos de medición analógica.** El Gráfico 6-1 muestra su funcionamiento.



Gráfico 6-1. Sensores analógicos

Fuente: (INAHMI, 2011)

Realizado por: Darquea, José; 2020

- b. Instrumentos de medición digital:** proporciona una representación del valor de la variable de medida en una forma numérica discreta. El Gráfico 7-1. muestra su funcionamiento.



Gráfico 7-1. Sensores digitales

Fuente: (INAHMI, 2011)

Realizado por: Darquea, José; 2020

1.5.1 *Sensores de temperatura y humedad.*

Los instrumentos eléctricos son cada vez más populares para medir la temperatura en meteorología. Su principal virtud es su capacidad de dar una señal de salida adecuada para la utilización en la lectura a distancia, registro en archivo o transmisión de los datos de temperatura. Con respecto a los que funcionan por expansión térmica presentan importantes ventajas a más de las ya indicadas.

Forman parte de un circuito eléctrico y pueden así ser adosados a la unidad de procesamiento cuya señal es una señal digital o analógica que puede ser registrada automáticamente. Indican instantáneamente cambios de temperatura de hasta menos de un décimo de grado (INAHMI, 2011).

1.5.1.1 *Termómetros de resistencia eléctrica.*

Un buen termómetro de resistencia metálica satisfará los siguientes requisitos:

- Sus propiedades físicas y químicas permanecerán inalterables a lo largo de toda gama de temperatura;
- Su resistencia aumentará uniformemente al aumentar la temperatura, sin ninguna discontinuidad en la gama medida;
- Las influencias externas, tales como la humedad, corrosión o deformaciones físicas, no alterarán sensiblemente su resistencia;
- Su resistividad y coeficiente térmico de resistividad serán lo suficientemente grandes como para que resulten eficaces en un circuito de medida.

Para fines meteorológicos, los termómetros se hacen de aleaciones de platino, níquel o cobre (INAHMI, 2011).

1.5.1.2 *Resistencia de Termistores*

Los termistores son semiconductores que tienen un coeficiente de resistencia térmico relativamente alto, y puede ser positivo o negativo según sea el material de que está hecho.

Sus ventajas, como sensor térmico son las siguientes:

- El gran coeficiente de temperatura de la resistencia permite que el voltaje aplicado a través de un puente de resistencia sea muy reducido, manteniendo la misma sensibilidad y reduciendo la necesidad de tener en cuenta la resistencia de los cables y cambios.
- Baja capacidad de disipación.

Los termistores y resistores deben ser utilizados con un puente de *Wheatstone* por el método nulo o de reflexión (INAHMI, 2011).

1.5.1.3 *Termopares o termocuplas*

Se las denomina cuplas termoeléctricas o pares termoeléctricos. Funcionan a través del efecto de Seebeck y Peltier. En meteorología los termopares se utilizan principalmente cuando se necesita un termómetro de muy pequeña constante de tiempo y capaz de realizar lecturas y registros a distancia, especialmente con fines investigativos. Son más útiles para la medición de

temperaturas diferenciales. Las combinaciones cobre-constantan o hierro-constantan resultan adecuadas para fines meteorológicos, ya que la fuerza electromotriz producida por °C es mayor que la de los metales raros y caros que se utilizan habitualmente en altas temperaturas (INAHMI, 2011).

Los errores son producidos generalmente por:

- La resistencia del elemento térmico y su variación a la temperatura
- La fuente eléctrica y los cables de compensación
- El dispositivo de medida y su impedancia en serie.

Podemos mencionar otro sensor de temperatura de tipo digital como el Hobos XT, este es un dispositivo robusto y completo que puede almacenar información y publicarla a través de su propio *software*. El INAMHI lo ha utilizado en estaciones meteorológicas automáticas en el nevado Antizana (INAHMI, 2011).

1.5.1.4 Sensores de Humedad Relativa.

Frecuentemente usados en EMA instaladas a gran altitud. Estos sensores utilizan el cambio de resistencia o capacitancia eléctrica debido a la absorción o condensación. Representan la relación porcentual de la presión del vapor en el ambiente y la del vapor de agua cuando se satura a temperatura y presión homogéneas. Los cambios eléctricos generados se transforman analógicamente o digitalmente en voltaje y su interpretación depende de fórmulas matemáticas características de cada sensor, resultando en %RH (INAHMI, 2011).

Se realiza un análisis comparativo de sensores de temperatura y de sensores de humedad relativa como se muestra en la Tabla 5-1 y en la Tabla 6-1 respectivamente.

Tabla 5-1. Características comparativas de los sensores de temperatura

	Rango de temperatura de medición (°C)	Resolución °C	Complejidad de tratamiento de señal	Costo	Portabilidad
Termómetros de resistencia eléctrica	-200,0 a 800,0	±0,1	Alta	Alto	Baja
Resistencia de termistores	-55,0 a 150,0	±0,5	Alta	Bajo	Alta
Termopares	-200,0 a 1372,0	±0,1	Media	Medio	Alta
Sensor de temperatura de precisión en circuito integrado	-55,0 a 150,0	±0,5	Baja	Bajo	Alta

Fuente: (Creus, 2011).

Realizado por: Darquea, José; 2020.

Tabla 6-1. Características comparativas de sensores los de humedad relativa

	Rango de temperatura de medición	Resolución	Complejidad de tratamiento de señal	Costo	Portabilidad
Sensor resistivo	0 a 90,0 % de HR	±5,0%	Baja	Bajo	Alta
Sensor capacitivo integrado	0 a 100,0 % de HR	±3,5%	Baja	Bajo	Alta
Sensor basado en conductividad térmica	0 a 70,0 % de HR	±5,0%	Baja	Medio	Alta

Fuente: (Creus, 2011).

Realizado por: Darquea, José; 2020.

Se concluye que para la temperatura lo mejor es emplear un sensor de temperatura de precisión en circuito integrado y en la humedad relativa lo más conveniente es utilizar un sensor capacitivo integrado, por tener las características optimas para el diseño de una EMA.

1.5.2 Sensores de Presión Barométrica o Atmosférica

Estos sensores transforman la fuerza ejercida por la atmósfera en la superficie medida en hectopascuales [hPa] a una unidad eléctrica para su análisis en sistemas electrónicos automáticos. Estos dispositivos reemplazan a los barómetros de mercurio que son de tipo analógico y los más utilizados en estaciones meteorológicas manuales o analógicas. Y al igual que los barómetros analógicos, estos sensores son afectados por la temperatura a la que se encuentran, por lo que requieren de una calibración apropiada de acuerdo a este parámetro.

Su funcionamiento eléctrico se debe a la deformación del elemento piezoeléctrico el mismo que es interpretado como presión atmosférica (INAHMI, 2011)

Tabla 7-1. Características comparativas de los sensores de presión atmosférica

	Rango de medición [mbar]	Resolución [mbar]	Complejidad de tratamiento de señal	Costo	Portabilidad
Sensor de principio capacitivo	500,0 a 1100,0	±0,3	Baja	Medio	Alta
Sensor piezo resistivo	300,0 a 1100,0	±0,3	Media	Alto	Alta

Fuente: (Creus, 2011)

Realizado por: Darquea, José; 2020

En referencia a la **Tabla 7-1**, se establece que el tipo de sensor a ser empleado es el de principio capacitivo por presentar las mayores ventajas en términos comparativos.

1.6 Análisis de las Estaciones Meteorológicas Automáticas

Las estaciones meteorológicas existentes y descritas poseen características propias en cuanto a recopilación de información, almacenamiento y transmisión, sin embargo ninguna de las opciones presentadas tiene la posibilidad de editar la programación del *software* de tal forma que los parámetros operativos consigan adecuarse a la estación meteorológica, sirviendo de mejor manera a los propósitos propuestos. Es así que la actual investigación propone el uso de un procesador que cumpla con dichas características y sea programable desde cero, haciendo uso de las capacidades en cuanto a programación, opciones de comunicación y puertos de conexión.

1.7 Tarjetas de procesamiento

La aplicación de los procesadores en las estaciones meteorológicas se usa tanto en estaciones comerciales como implementadas. Las opciones son *datalogger*, PLC, Arduino, *Raspberry Pi* como principales, sin embargo ninguna de estas opciones reúne las características necesarias para obtener una estación meteorológica con posibilidad de programación en bajo nivel, capacidad de procesamiento paralelo para futuras expansiones y mejoras de velocidad, por lo tanto se requiere de un procesador con dichas características mencionadas y las opciones de puertos de entrada digitales y analógicos.

Tabla 8-1. Características comparativas de procesadores

	Programación en bajo nivel	Capacidad de procesamiento paralelo	Entradas digitales y analógicas	Velocidad de procesamiento
NI MyRIO	Sí	Sí	Sí	Alta
Datalogger	Medio	No	Sí	Media
PLC	Medio	No	Sí	Media
Arduino	Sí	No	Sí	Baja
Raspberry Pi	Sí	No	Sí	Alta

Realizado por: Darquea, José; 2020

Tomándose en consideración la Tabla 8-1 se selecciona un dispositivo que reúna las características necesarias, como lo es la tarjeta NI MyRIO de National Instruments. Esta cumple con los propósitos convenidos, consiguiendo a la par los alcances de la presente investigación y sentar bases firmes con grandes proyecciones para futuras investigaciones.

1.8 Sistema de alimentación eléctrica autónomo

La alimentación eléctrica en una estación meteorológica automática es un caso especial que requiere de un adecuado análisis, dimensionamiento y selección de equipos. En términos generales, una estación meteorológica usualmente se encuentra ubicada en puntos estratégicos para la medición de variables, y a su vez estos puntos la mayoría de ocasiones no se encuentran dentro de zonas pobladas o cerca de los puntos de suministro eléctrico de la red y es por tales razones que requieren su propio sistema de generación eléctrica con su respectivo control y almacenamiento de energía.

El sistema de generación eléctrica más adecuado para estos casos son los paneles solares debido a su versatilidad, su relativo bajo costo, la ventaja de que los mismos generan electricidad directamente en DC, poseen un peso ligero y dimensiones convenientes además de facilidad de instalación. Adicionalmente el medio local brinda radiación solar casi permanente aprovechable durante aproximadamente 10 de las 24 horas del día durante todo el año sin variantes estacionales.

El hecho de generar corriente continua brinda la posibilidad de la utilización de un controlador regulador de carga DC para administrar el suministro eléctrico de los equipos electrónicos que a su vez emplean corriente continua, y la conexión de baterías a este sistema eléctrico como mecanismo de almacenamiento de energía eléctrica para aquellas horas en que el panel no pueda suministrar de fluido eléctrico a las cargas, y en contraparte dicha batería recibe su carga en las horas de sol en que la potencia generada por el panel supere la requerida por las cargas con un excedente suficiente para dicho efecto.

Las baterías presentan un voltaje de 12V por lo que se emplea este nivel de voltaje para baterías y controlador de carga, mientras que los paneles solares deben tener un voltaje un tanto superior para que se contrarresten caídas de voltaje en cables, conexiones y el voltaje final que llega al controlador y por ende a las baterías sea superior a los 12V.

CAPITULO II

PROPUESTA Y DISEÑO DE PROTOTIPO

En el presente capítulo se detalla la ingeniería empleada mediante manuales de los equipos, hojas de datos, cálculos matemáticos y criterios de diseño para cada etapa de instrumentación, programación, dimensionamiento e implementación. Se advierten consideraciones de límites máximos y mínimos, conceptos de base teórica, y en general justificaciones para la actual investigación que brindan la posibilidad de ser usados como referencia y consulta para futuros proyectos similares.

Se brinda una guía avanzada y en detalle de la implementación de una estación meteorológica automática en lo que se refiere a *software* y *hardware*, las justificaciones de selección, criterios técnicos, experticia compartida y fundamentos teóricos y bibliográficos.

2.1 Requerimientos de la estación meteorológica

El prototipo debe satisfacer los siguientes requerimientos:

- *Hardware* embebido programado en entornos gráficos.
- Registrar fecha y hora de adquisición de datos.
- Contar con almacenamiento interno.
- Capacidad para medir temperatura, humedad relativa y presión atmosférica.
- Ser de bajo costo.
- Poseer una batería que permita el funcionamiento autónomo.
- Visualización de datos en tiempo real.

2.2 Concepción de la arquitectura de la estación meteorológica automática

Se concibe en tres módulos fundamentales: Módulo principal, módulo de visualización y módulo de alimentación eléctrica. En lo que respecta al módulo principal consta de tres bloques complementarios: bloque de almacenamiento, bloque de adquisición de datos y bloque de procesamiento. La concepción de la arquitectura se presenta en el Gráfico 1-2.

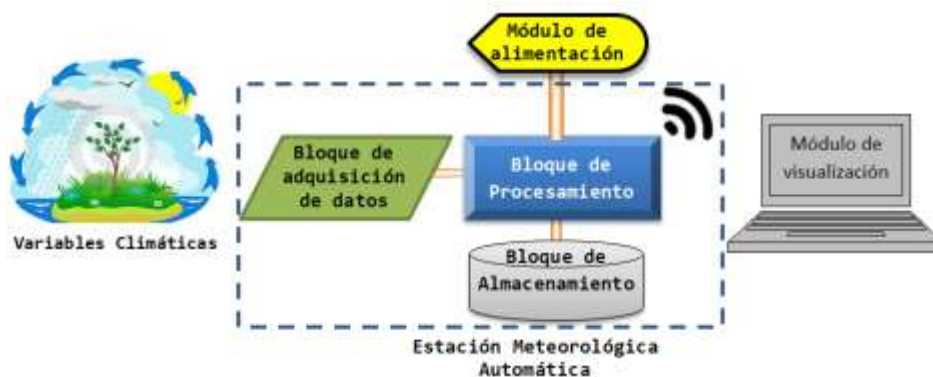


Gráfico 1-2. Arquitectura de la estación meteorológica automática

Realizado por: Darquea, José; 2020

2.2.1 Funcionamiento y análisis de los módulos

Los módulos que componen la estación meteorológica automática concebida son tres y se encargan de las siguientes funciones:

2.2.1.1 Módulo principal

Se encarga de las actividades fundamentales en la EMA y se divide en 3 bloques (Gráfico 2-2):

- **Bloque de adquisición de datos:** está compuesto por los sensores que toman los datos de las variables ambientales, a partir de señales eléctricas tratadas mediante acondicionamientos para luego ingresar por los puertos de entrada de la tarjeta de procesamiento.
- **Bloque de procesamiento:** constituye el *hardware* embebido que se encarga del tratamiento de datos que han llegado mediante el bloque de adquisición y permite la comunicación para la transmisión de los datos procesados y alberga un panel para la visualización de datos en tiempo real. El tratamiento de los datos consiste en muestreo, promedio, y control. Dispone de una red local Wireless para transmitir los datos a un servidor externo. Cuenta con un RTC externo para mantener la información de fecha y hora en caso de que se desconecte la tarjeta.
- **Bloque de almacenamiento:** este tiene lugar una vez que el bloque de adquisición y el bloque de procesamiento han cumplido sus funciones y dispone de los datos medidos y tratados. Después de obtenidos los datos se procede al almacenamiento automático en memoria interna de la tarjeta procesadora, lo cual es efectuado de acuerdo al periodo de tiempo establecido e incluyendo los parámetros de tiempo y de datos necesarios.



Gráfico 2-2. Diagrama de bloques del módulo principal

Realizado por: Darquea, José; 2020

2.2.1.2 Módulo de visualización

Consta de un ordenador portátil con conexión inalámbrica para conectarse en línea al sistema de la estación meteorológica, brindando la información en tiempo real al personal encargado a través de un *Web Server* remoto. Se hace uso del software desarrollado en entorno de programación conectándose mediante TCT/IP usando *FTP File Transfer Protocol* hacia la tarjeta de procesamiento objetivo para descargar el archivo con la información meteorológica generada. Cuenta con la opción de hacer correcciones en el *RTC Real Time Clock* mediante la interfaz (Gráfico 3-2).

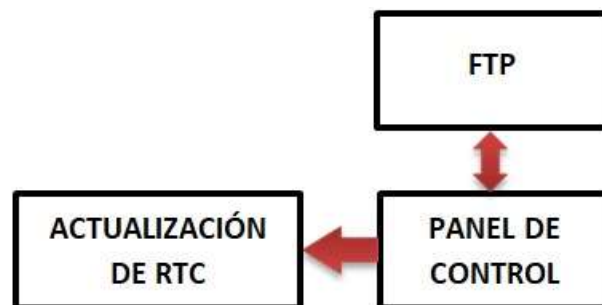


Gráfico 3-2. Diagrama de bloques del módulo de visualización

Realizado por: Darquea, José; 2020

2.2.1.3 Módulo de alimentación eléctrica

Está compuesto por un panel solar encargado de la obtención de la energía fotovoltaica, batería eléctrica para el almacenamiento energético, y un controlador de carga el cual se encarga de ser el orquestador de la administración de flujo eléctrico entre generación, almacenamiento y consumo. Se destaca que toda la carga eléctrica se conecta a través de la unidad de control de procesos que consiste en la tarjeta de procesamiento como se muestra en el Gráfico 4-2.

La alimentación eléctrica descrita hace referencia únicamente a la estación meteorológica como tal sin involucrar al ordenador y dispositivos de memoria que se utilicen para el almacenamiento de la información.



Gráfico 4-2. Diagrama de bloques del módulo de alimentación eléctrica.

Realizado por: Darquea, José; 2020

2.3 Componentes de la EMA

La tarjeta de procesamiento NI MyRIO cumple con la característica de ser *hardware* embebido que soporta entornos gráficos de programación. Esta alberga toda la programación del prototipo de EMA para adquirir, almacenar y transmitir los datos de fecha, hora, temperatura, humedad relativa y presión atmosférica. Para que el prototipo sea considerado autónomo e inalámbrico, se hace una conexión *wireless* y se implementa un sistema fotovoltaico que permita el funcionamiento de la estación meteorológica de manera automática.

A continuación, se muestra una lista de los componentes principales utilizados en el *hardware* del prototipo y posteriormente un análisis para llegar a su selección.

- Tarjeta de desarrollo NI MyRIO1900
- Reloj de Tiempo Real RTC DS3231
- Sensores de temperatura analógicos LM35
- Sensores de humedad analógicos HIH4000
- Sensor de presión PTB110
- Controlador de Carga 12V
- Panel Solar 18V
- Batería 12V 7.2Ah/20h
- Bus de datos MXP hembra de 32 pines
- Conector MXP macho de 32 pines

2.4 Tarjeta de procesamiento NI MyRIO

A partir de la información recopilada, se determinó que el datalogger o la tarjeta de procesamiento es la parte medular de una estación meteorológica y debido a que el presente trabajo de titulación requiere de una estación meteorológica basada en *hardware* embebido que soporte entornos gráficos de programación, la tarjeta MyRIO1900 cumple con esta característica, y gracias a la Tabla 8-1, se pudo determinar que se destaca en programación de bajo nivel, capacidad de procesamiento paralelo y alta velocidad en comparación con otras.



Figura 1-2. NI MYRIO1900

Fuente: (NI)

El diseño embebido del dispositivo NI MyRIO (Figura 1-2) contiene un procesador programable *dual-core* ARM Cortex-A9 de 667 MHz y un FPGA que puede usarse para empezar a desarrollar sistemas y resolver problemas de diseño complicado de manera más rápida, es decir, en una forma compacta. El dispositivo NI MyRIO contiene el chip Zynq-7010, todo un sistema programable para liberar todo el poder de un sistema de *LabVIEW*, ya sea en una aplicación de tiempo real, como en el nivel de un FPGA. En lugar de usar grandes cantidades de sintaxis, depuración de código o el desarrollo de interfaces de usuario, los interesados pueden utilizar el paradigma de la programación gráfica de *LabVIEW* para centrarse en la construcción de sus sistemas y la solución de sus problemas de diseño y sin la presión añadida de una herramienta pesada. NI MyRIO es una herramienta de enseñanza reconfigurable y reutilizable que ayuda a los interesados a aprender una gran variedad de conceptos de ingeniería, así como proyectos de diseño completos (National Instruments, 2016).

Utilizando herramientas de tiempo real, FPGA y capacidades integradas de Wi-Fi, junto con la memoria integrada; se pueden desplegar aplicaciones de forma remota y ejecutarlos "*headlessly*" (sin conexión a un ordenador remoto). Tres conectores (dos puertos NI MyRIO expansión [MXP] y un puerto de NI *miniSystems* [MSP] que es idéntico al conector NI myDAQ) envían y reciben señales desde los sensores y circuitos conectados. Cuarenta líneas de

E/S digitales, con el apoyo de SPI, PWM, entrada de codificador de cuadratura, UART e I2C; ocho entradas analógicas de una sola terminal; dos entradas analógicas diferenciales; cuatro salidas analógicas unipolares; y dos salidas analógicas con referencia a tierra permiten la conectividad a una gran cantidad de sensores y dispositivos, y control de sistemas (National Instruments, 2016).

2.5 Selección de las variables meteorológicas.

“En la Meteorología el estudio de la atmósfera 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”. (Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología, 2004). Para la selección de las variables meteorológicas primero identificamos la relación que existe entre estas Gráfico 3-1, los tipos de estaciones descritas y las variables que miden en la Tabla 2-1 y además se considera la Tabla 3-1 donde se compara algunas estaciones meteorológicas existentes en el mercado, concluyendo que en este prototipo las variables que se medirán son la temperatura, presión atmosférica y la humedad relativa en base a su mayor relación entre estas y porque existen estaciones que miden dos o más variables dependiendo de su tipo y propósito.

2.6 Selección de los sensores climáticos

Para la selección fue necesario realizar un análisis de las diferentes variables climáticas que se requieren para las distintas aplicaciones en las que se ven involucradas las estaciones meteorológicas, verificando las más útiles y de mayor impacto para con los objetivos de la presente investigación, tal como se realizó en el Capítulo I del presente trabajo.

Siguiendo los preceptos mencionados se procede a seleccionar las variables a ser medidas por la EMA, siendo la temperatura, humedad relativa y presión atmosférica las favorecidas debido a que no existe aplicación climática en la que estas variables no sean tomadas en cuenta pues con ellas se puede obtener una clara referencia de las condiciones del clima, a la vez que su procesamiento de datos es realizado en distintas locaciones de otras estaciones, pudiéndose realizar comparativas eficientemente.

Estas tres variables brindan un amplio panorama para los fines investigativos actuales en términos de instrumentación, conexiones, programación, tratamiento y almacenamiento de datos, constituyéndose esta investigación en el pilar de futuros trabajos que pretendan añadir variables al sistema actual ya montado e implementado, o de análisis de datos históricos con el transcurrir del tiempo.

2.6.1 *Requerimientos de los sensores climáticos*

Una vez establecidas las variables a ser medidas dentro de los requerimientos de la estación meteorológica (temperatura, presión atmosférica y humedad relativa) se establece los requisitos que deben cumplir los sensores a ser empleados.

Como factores determinantes en la selección específica de los sensores se establece los rangos de medida que deben disponer los mismos para que sean capaces de medir todo el espectro de valores que se pudieran presentar dentro del clima local, a la cual va estar sometida la estación meteorológica, así como la resolución mínima de medida a obtenerse, como se muestra en la Tabla 1-2.

Tabla 1-2. Requerimiento de sensores para la estación meteorológica autónoma.

Variable	Mínimo valor de medida	Máximo valor de medida	Resolución	Portabilidad
Temperatura	2,0 °C	35,0 °C	±0,5 °C	Alta
Presión atmosférica	750,0 mbar	700,0 mbar	±0,3 mbar	Alta
Humedad relativa	30,0 %	100,0 %	±5 %	Alta

Realizado por: Darquea, José; 2020

2.6.1.1 *Análisis y decisión sensor de temperatura*

La variable más analizada y necesaria dentro del clima es la temperatura y dependiendo de la aplicación es requerida una mayor o menor precisión en su medición. En lo que respecta a ciertos procesos industriales se requiere de altas precisiones para garantizar la calidad del producto final, maleabilidad, mezcla, etc. Refiriéndose a décimas o incluso centésimas de grado como precisión requerida.

Sin embargo en aplicaciones que conllevan factores climáticos la precisión de medida requerida es menor, variando entre una décima de grado las más precisas hasta un grado las más distendidas, tal es así que en el presente trabajo se ha optado por emplear un valor intermedio de precisión correspondiente a $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$.

Otro aspecto importante a considerarse es el rango de medida, dentro de lo cual debemos apegarnos a los valores que se manejan dentro de nuestro país y concretamente a nuestra región en la que las temperaturas mínimas son de alrededor de 2°C mientras que las temperaturas máximas son aproximadamente 30°C , por lo que el sensor debe cubrir este rango establecido.

De esta manera se opta por el sensor de temperatura LM35 (Figura 2-2) el cual cumple con los requerimientos descritos. Para obtener un beneficio adicional en cuanto a exactitud de medida se define el empleo de tres sensores LM35, en lugar de uno solo con el objetivo de incrementar la exactitud de la medida, a la vez que se tiene respaldo para la medición de la variable de temperatura.



Figura 2-2. Sensor de temperatura LM35

Fuente: Datasheet dispositivo LM35

2.6.1.2 *Análisis y decisión sensor de presión atmosférica*

La presión atmosférica es una variable que no sufre cambios súbitos, sino varía lentamente pudiendo observarse cambios medibles con el paso de varios minutos en los casos más volátiles, si bien esta variable tiene un cambio relativamente lento, requiere de una medida exacta que brinde seguridad de medición y datos confiables y exactos. En el Ecuador, la presión atmosférica varía aproximadamente desde los 1013 hPa hasta los 500 hPa, por lo que el sensor debe ser capaz de medir todo este rango de presiones atmosféricas.

En cuanto a la precisión se refiere es necesario que el sensor tenga dicho valor por debajo de los ± 0.5 hPa de tal manera que el sensor pueda distinguir diferencias de presión por altitud de alrededor de 3 metros para el caso de altitudes cercanas al nivel del mar y diferencias de alrededor de 8 metros para el caso de alturas cercanas a los 6000 msnm. Una buena exactitud de medición permite analizar la presión atmosférica como variable de comportamiento climático más allá de la incidencia por términos de alturas sobre el nivel del mar.

Entonces se decide por el sensor Vaisala *BAROCAP Barometer* PTB110 Series (Figura 3-2), el cual posee una exactitud de ± 0.3 hPa a una temperatura de $+20^{\circ}\text{C}$ y un rango de medición de presión atmosférica desde los 1100hPa hasta los 500hPa, este cubre a cabalidad el rango propuesto en el ámbito nacional. El sensor PTB110 es práctico para diversas aplicaciones y recomendado para situaciones de recolección de datos en campo debido a su bajo consumo eléctrico, adicional a que posee una buena estabilidad barométrica a largo plazo que se traduce en una minimización o eliminación de la necesidad de ajuste del sensor en campo.



Figura 3-2. PTB110

Fuente: Datasheet dispositivo
Vaisala PTB110

2.6.1.3 *Análisis y decisión sensor de humedad relativa*

La humedad relativa es una variable ambiental estacional, es decir varía tanto con la época del año como con la hora del día, es necesario establecer los límites mínimos y máximos de medición propuesto que en el caso local varía entre el 40% y el 95%, requiriéndose a la par una precisión de $\pm 5\%$ como mínimo para obtener los resultados esperados para un análisis de la situación climatológica. Tomando en consideración los presentes requerimientos se elige emplear el sensor HIH-4000 (Figura 4-2), el cual es capaz de medir todo el rango de humedad relativa desde 0% hasta 100% con una precisión de $\pm 3.5\%$, la cual a su vez es mejorada al emplear 3 sensores HIH-4000 cuyas mediciones son tratadas y promediadas.



Figura 4-2. HIH-4000

Fuente: Datasheet dispositivo
HIH 4000

2.6.2 *Sensor de temperatura LM35*

La salida de voltaje del sensor LM35 es linealmente proporcional a la temperatura en grados Celsius, lo cual establece una ventaja frente a otros tipos de sensores que son calibrados en grados Kelvin y que debido a que el tratamiento de datos climáticos en el medio nacional y latinoamericano se realiza en Celsius, entonces se hace necesario la conversión en *software* de

una escala a la otra. La conexión del sensor LM35 requiere de voltaje de alimentación positivo y la referencia a tierra, configuración que se muestra en la **Figura 5-2.** , con lo que el sensor mide entre los $+2^{\circ}\text{C}$ y los $+150^{\circ}\text{C}$ (National Semiconductor, 2000). Sus características técnicas se visualización en la **Tabla 2-2.**

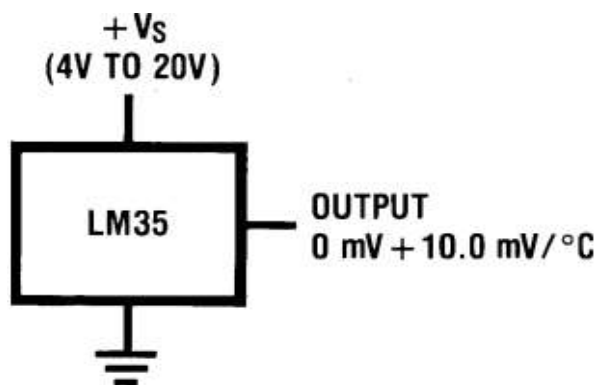


Figura 5-2. Conexión LM35 sin voltaje negativo

Fuente: Datasheet dispositivo LM35

Tabla 2-2. Características LM35.

PARÁMETRO	VALOR
Rango de medida	$2,00^{\circ}\text{C}$ a $150,00^{\circ}\text{C}$
Precisión	$\pm 0,50^{\circ}\text{C}$
Voltaje de alimentación	$4,00\text{ V}$ a $30,00\text{ V DC}$
Voltaje de salida	$0,00\text{ mV} + 10,00\text{ mV}/^{\circ}\text{C}$
Consumo de corriente	$< 60,00\ \mu\text{A}$
Autocalentamiento	$0,08^{\circ}\text{C}$ en aire quieto

Fuente: Datasheet dispositivo LM35.

Realizado por: Darquea, José; 2020.

2.6.3 Sensor de presión atmosférica Vaisala PTB110

Este sensor de presión puede trabajar en modo normal y en modo *shutdown*. En el primer modo el sensor mide la presión continuamente mientras está encendido y reporta la señal de salida en todo momento, mientras que para el modo *shutdown* se requiere que adicionalmente a que el sensor esté encendido se envíe una señal de voltaje desde el controlador hacia el pin “*EXT. TRIG*” para activar o desactivar la medición dependiendo del nivel de voltaje enviado. (Vaisala, 2018)

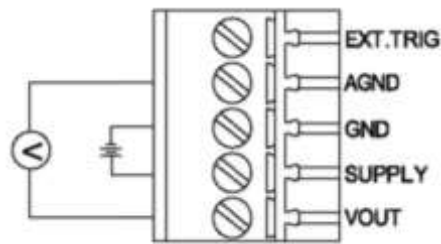


Figura 6-2. Conexión sensor de presión PTB110

Fuente: Datasheet dispositivo Vaisala PTB110

Para la presente investigación, la MyRIO fija los instantes en que se registra el dato de los sensores, por ello no es necesario encender y apagar el sensor PTB110, lo que permite emplearse en modo normal de acuerdo a la conexión indicada en la Figura 6-2. Con respecto a la lectura de dato de salida, en voltaje, del presente sensor, se requiere emplear la ecuación (1-2) y realizar las operaciones matemáticas dentro de la programación de la MyRIO. (Vaisala)

$$P = P_{low} + \frac{P_{range}}{V_{range}} \cdot V_{out} \quad (1-2)$$

Dónde:

P_{low} = Límite inferior del rango de presión (500 [HPa])

P_{range} = Rango completo de presión (1100 – 500 = 600 [HPa])

V_{range} = Rango máximo de voltaje de salida (2,5 [V])

V_{out} = Voltaje de salida de medición (0 – 2,5[V])

Aplicando los valores anteriores, obtenemos la medida de Presión en función del voltaje de salida del sensor en la ecuación

(2-2).

$$P = 500 + \frac{600}{2,5} \cdot V_{out}$$

$$P = 500 + 240V_{out} \quad (2-2)$$

Las características técnicas del sensor se presentan en la Tabla 3-2.

Tabla 3-2. Características Vaisala PTB110

PARÁMETRO	VALOR
Rango de medida	500,0 HPa a 1100,0HPa
Precisión	±0,3 HPa
Voltaje de alimentación	10,0V a 30,0V DC
Voltaje de salida	0,0V a 2,5V
Consumo de corriente	< 4,0mA

Fuente: Datasheet dispositivo PTB110

Realizado por: Darquea, José; 2020

2.6.4 Sensor de humedad relativa HIH 4000

El sensor HIH-4000 posee la curva recomendada de operación mostrada en el Gráfico 5-2, la cual bajo las condiciones de temperatura ambiente se puede emplear el sensor en la totalidad de su rango de medición para valores entre 0°C y 50°C, el cual es el presente caso.

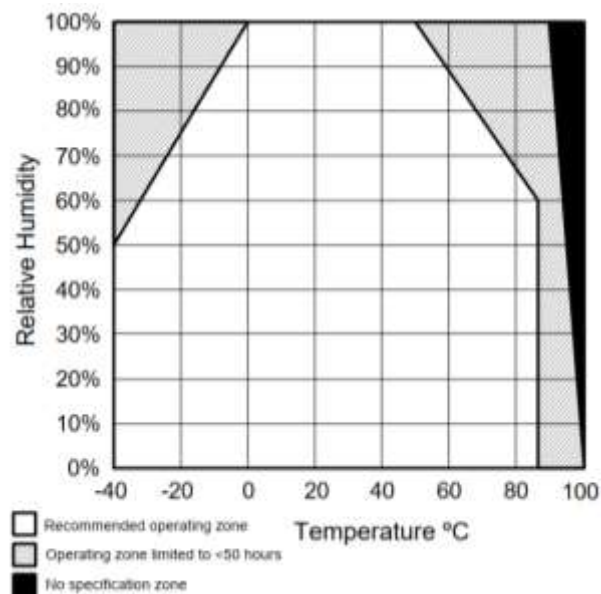


Gráfico 5-2. Curva de operación del sensor HIH-4000

Fuente: Datasheet dispositivo HIH 4000

Para la conexión del sensor hacia el controlador MyRIO1900 se lo realiza de acuerdo a la **Figura 7-2.** , donde se destaca una resistencia de 80Kohm como carga mínima entre los pines *OUT* y -Ve del sensor. Y sus características se pueden apreciar en la Tabla 4-2 (Honeywell, 2010).

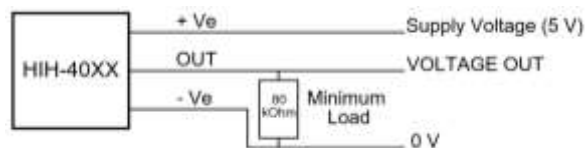


Figura 7-2. Conexión del sensor HIH-4000

Fuente: Datasheet dispositivo HIH 4000

Tabla 4-2. Características HIH 4000

PARÁMETRO	VALOR
Rango de medida	0,0 a 100,0% HR
Precisión	3,5% HR
Voltaje de alimentación	4,0V a 5,8V DC
Voltaje de salida	0,0 a 5,0V
Consumo de corriente	200,0 μ A

Fuente: Datasheet dispositivo HIH 4000

Realizado por: Darquea, José; 2020

2.6.5 Consideraciones generales

Un factor importante que se debe tomar en cuenta, es el consumo de corriente de los sensores seleccionados, con la finalidad de realizar la conexión de la alimentación eléctrica. En el presente caso mediante las hojas de datos se constata que los sensores de temperatura consumen 60uA cada uno, el sensor de presión atmosférica con un consumo menor a 4mA y los sensores de humedad con un consumo de 200uA cada uno. Adicionalmente todos los sensores empleados ocupan voltajes de alimentación que se encuentran en los rangos que NI MyRIO 1900 puede suministrar (5V a 100mA, 15V a 32mA), entonces se opta por emplear el dispositivo MyRIO para alimentar eléctricamente a todos los sensores y el reloj de tiempo real, teniendo como base los cálculos matemáticos expuestos en la Tabla 5-2.

Tabla 5-2. Consumo eléctrico de los dispositivos conectados a voltajes suministrados por MyRIO 1900

Suministro de voltaje	Número de dispositivos	Dispositivo	Consumo individual [mA]	Consumo total [mA]	Consumo total sensores [mA]
5 V a 100 mA	3	Sensor de Temperatura	0,060	0,180	0,781
	3	Sensor de Humedad	0,200	0,600	
	1	Reloj de tiempo real	0,001	0,001	
15 V a 32 mA	1	Sensor de Presión	0,200	0,200	0,200

Realizado por: Darquea, José; 2020

Los tres tipos de sensores a emplearse tienen conexión de voltaje de alimentación, referencia a tierra y salida de la señal analógica, por lo que debe tomarse en consideración este aspecto para la distribución de conexiones y cableado necesario con el propósito de optimizar los recursos y facilitar el ensamblaje y el entendimiento.

2.7 Tratamiento de señal en hardware

Las señales obtenidas desde los sensores requieren de un filtrado previo a la conexión hacia el controlador dependiendo del tipo de sensor que se emplea para cada variable meteorológica, es por esta razón que se tiene que verificar caso por caso y diseñar el filtro adecuado particular con base en bibliografía, experiencia y pruebas, con el objeto de atenuar ruidos por interferencias de campos eléctricos y magnéticos, obteniendo datos más reales y estables.

En el presente trabajo, la circuitería electrónica no se encuentra sometida a interferencias ocasionadas por circulación de grandes corrientes, pues el consumo de los equipos es muy bajo y dichas corrientes no tienen un efecto fuerte en las señales pese a estar muy cerca físicamente los sistemas eléctrico y electrónico.

Los filtros diseñados para los sensores se incluyen en las placas periféricas, los mismos que se encuentran conectados a los sensores de temperatura y humedad respectivamente. Para el caso del sensor Vaisala de presión atmosférica no es necesario ya que el tratamiento de señal viene incorporado dentro de la circuitería interna del dispositivo.

En lo que respecta a los sensores de humedad HIH-4000, los cuales reportan la señal de salida como voltaje y cuyos ruidos se verifican como un rizado simple corresponden a aproximadamente el 0.3% del dato de voltaje, se procede a realizar la conexión de un filtro simple compuesto por un capacitor de 470 μ F capaz de sostener la señal ante variaciones pequeñas debidas a rizado por interferencia.

Para los sensores de temperatura LM35 el filtrado de señal se realiza gracias a la conexión a tierra entre una resistencia de 220 Ω y la salida del sensor, tal que atenúe las oscilaciones de voltaje producto de interferencias y estabilice la señal.

2.8 Reloj de tiempo real

Es algo inútil tener un determinado número de datos registrados de las variables climatológicas sensadas sin la referencia exacta de tiempo al cual pertenecen. En una estación meteorológica un aspecto de vital importancia es disponer de la fecha y hora exacta a la cual se toman los datos, debido a que con base en esta información temporizada se realizan los adecuados análisis de temporalidad, análisis comparativos con otras estaciones, tendencias, pronósticos y registro histórico en general.

La manera de garantizar que la MyRIO que actúa como *Datalogger* posea el dato exacto de fecha y hora es mediante el uso de un reloj de tiempo real externo del cual MyRIO pueda consultar los datos de temporalidad al instante en que se registran las mediciones y adjuntarlas instantáneamente a los datos mensurados.

En virtud de lo mencionado se selecciona al DS3231 (Figura 8-2) como reloj de tiempo real empleado, el cual cuenta segundos, minutos, horas, día, mes, día de la semana, y año tomando en consideración año bisiesto. Teniendo una compensación válida hasta 2100.

El reloj DS3231 tiene un circuito de sensado de alimentación eléctrica el cual detecta fallas en la misma y automáticamente cambia a la alimentación de reserva la cuál es una pila de 3V, consiguiendo de esta manera que el reloj siga su cuenta sin detenerse, mientras se normaliza la alimentación principal.

La comunicación entre el reloj y MyRIO se realiza mediante I2C y la alimentación eléctrica del reloj es efectuada desde MyRIO con un voltaje de 5V con un consumo máximo de 1uA como se indica en la Tabla 5-2 (Maxim/Dallas, 2008).



Figura 8-2. RTC DS3231

Fuente: (Maxim/Dallas, 2008)

2.9 Conexión de los dispositivos electrónicos

Todos los dispositivos electrónicos del proyecto se alimentan de energía a través de la tarjeta embebida y la configuración de conexiones se observa en la 6-2.

Tabla 6-2. Conexiones entre los sensores, el RTC y la tarjeta de Desarrollo MyRIO 1900

Puerto	Nombre conector	Número conector	Señal
A	AI0	3	Humedad HIH-4000 (1)
A	AI1	5	Humedad HIH-4000 (2)
A	AI2	7	Humedad HIH-4000 (3)
A	+5V	1	+Ve Sensores Humedad HIH-4000
A	AGND	6	-Ve Sensores Humedad HIH-4000
B	AI0	3	Vout Presión PTB110
B	AI1	5	Temperatura LM35 (1)
B	AI2	7	Temperatura LM35 (2)
B	AI3	9	Temperatura LM35 (3)
B	DIO11	11	Salida Pushbutton
B	DIO14 / I2C.SCL	32	SCL Reloj de tiempo real
B	DIO15 / I2C.SDA	34	SDA Reloj de tiempo real
B	+5V	1	+Vs Sensores LM35 y RTC
B	AGND	6	GND Sensores LM35 y PTB110
B	DGND	30	GND Reloj de tiempo real y GND Pushbutton
C	+15V	1	Fuente sensor PTB110
C	AGND	3	GND sensor PTB110

Realizado por: Darquea, José; 2020

Para el presente trabajo, se tiene dispuestos tres circuitos en tres placas electrónicas distintas: una placa central y dos periféricas para los sensores, con el objetivo de distribuir los sensores

especialmente y con ello disponer de versatilidad para la ubicación de los sensores en las posiciones más favorables para lo cual se hace empleo del software Proteus 8.6 Professional para el diseño del circuito impreso.

El circuito mostrado en la Figura 9-2 alberga las conexiones de los puertos MXP A y B de MyRIO y mediante las pistas conductoras los conecta a los capacitores de filtro de señal, las resistencias de carga mínima de los sensores de humedad relativa y el botón pulsador para descarga del archivo generado internamente. Adicionalmente esta placa contiene las conexiones de alimentación eléctrica, y señales hacia los sensores de temperatura y humedad relativa ubicados en las placas periféricas, y por otra parte las conexiones de entrada desde el sensor de presión atmosférica.

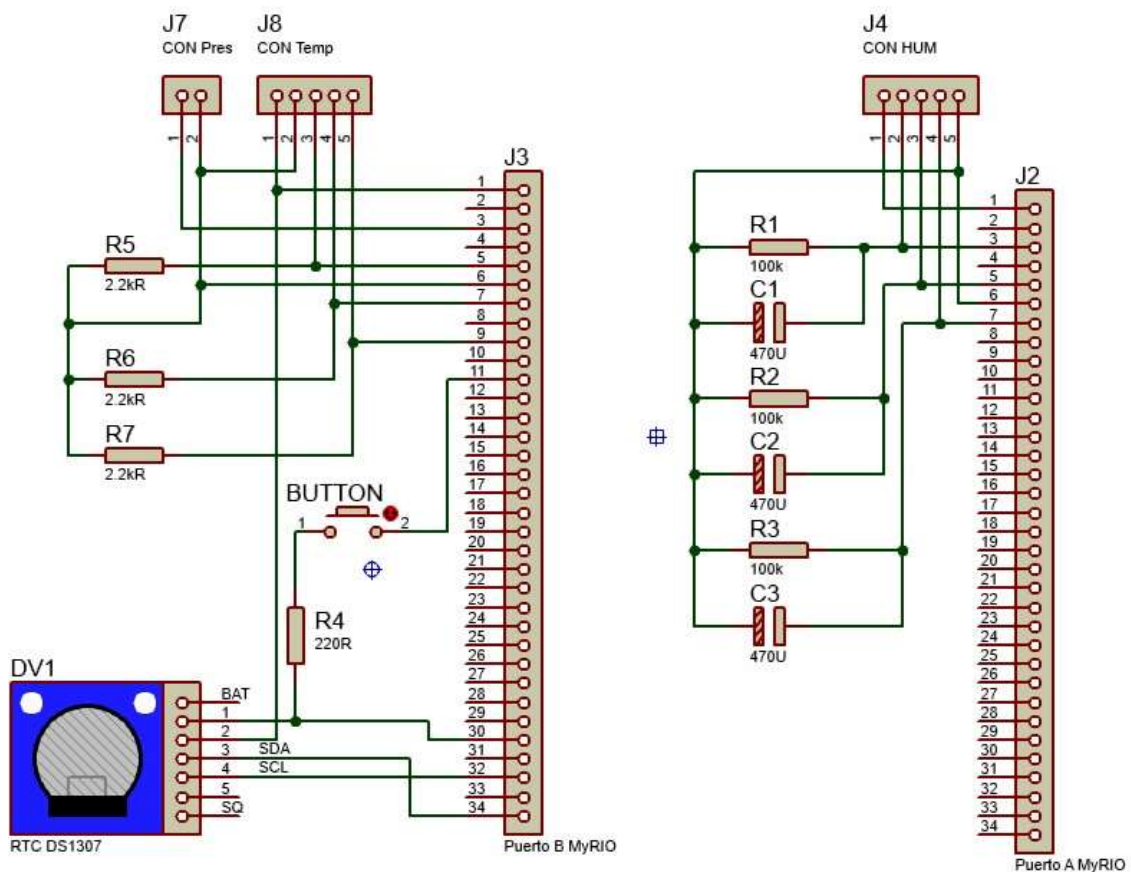


Figura 9-2. Esquema de conexiones de la placa principal

Realizado por: Darquea, José; 2020

Los dos circuitos periféricos (Figura 10-2) son totalmente más sencillos y albergan únicamente las conexiones de los sensores hacia la placa central. Mediante el uso de estos circuitos realizados sobre placas distintas se consigue poder ubicar los sensores en locaciones más adecuadas para medir las variables de una manera más exacta.

Al puerto MXP A, representado por el conector J2, se conectan los 3 sensores HIH-4000 a través de los conectores J4 y J5 de la Figura 9-2 y Figura 10-2 como se explica en la Tabla 7-2.

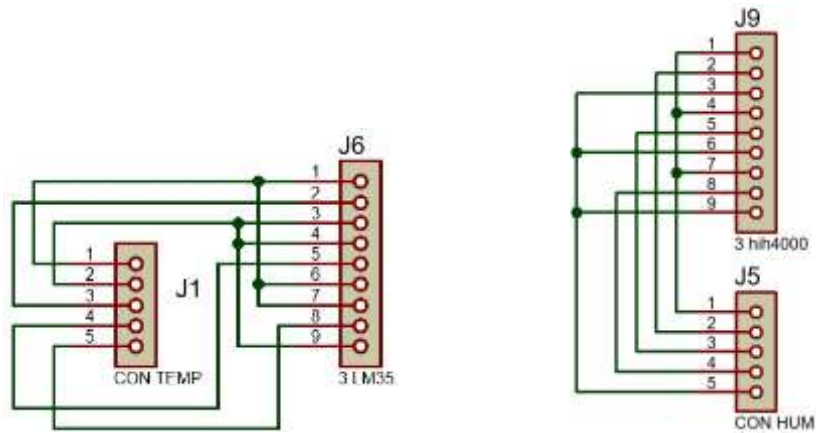


Figura 10-2. Esquema de conexión Placa Temperatura y Placa Humedad

Realizado por: Darquea, José; 2020

Tabla 7-2. Diagrama de Conexiones entre conectores representantes J2 – J4 y J5 – J9

Puerto	Placa Central		Placa Humedad	
	J2	J4	J5	J9
A	1 (+5V)	1	1	1, 4, 7 (+Ve)
A	3 (AI0)	2	2	2 (Vout S1)
A	5 (AI1)	3	3	5 (Vout S2)
A	7 (AI2)	4	4	8 (Vout S3)
A	6 (AGND)	5	5	3, 6, 9 (-Ve)

Realizado por: Darquea, José; 2020

Al puerto MXP B, representado por el conector J3, se conectan los 3 sensores LM35 en J6 a través de los conectores J8 y J1 de la Figura 9-2 y Figura 10-2 como se explica en la Tabla 8-2.

Tabla 8-2. Diagrama de Conexiones entre conectores representantes J3 – J8 y J1 – J6

Puerto	Placa Central		Placa Temperatura	
	J3	J8	J1	J6
B	1 (+5V)	1	1	1, 6, 7 (+Ve)
B	6 (AGND)	2	2	3, 4, 9 (GND)
B	5 (AI1)	3	3	2 (Vout S4)
B	7 (AI2)	4	4	5 (Vout S5)
B	9 (AI3)	5	5	8 (Vout S6)

Realizado por: Darquea, José; 2020

El sensor de presión atmosférica PTB110 de acuerdo a su configuración está conectado como muestra la Tabla 9-2.

Tabla 9-2. Diagrama de Conexiones entre MyRIO y PTB110

Puerto		J7	PTB110
B	3 (AI0)	1	Vout
B	6 (AGND)	2	AGND
C	1 (+15V)		Supply
C	3 (AGND)		GND

Realizado por: Darquea, José; 2020

Las características de las entradas analógicas de MyRIO1900 se detallan en la **Tabla 10-2**.

Tabla 10-2. Características de las entradas analógicas MyRIO1900

Frecuencia de muestreo	500 kS/s (<i>kilosamples per second</i>)
Resolución	12 bits
Protección de sobrevoltaje	± 16 V
Conectores MXP	
Configuración	Cuatro canales simples por conector
Impedancia de entrada	>500 K Ω adquiriendo a 500 kS/s 1 M Ω encendido y libre 4.7 K Ω apagado
Impedancia de fuente recomendada	3 K Ω o menos
Rango nominal	0 V a +5V
Exactitud absoluta	± 50 mV
Ancho de banda	>300 KHz
Conector MSP	
Configuración	Dos canales diferenciales
Impedancia de entrada	Hasta 100 nA de fuga encendido
Rango nominal	± 10 V
Voltaje de trabajo (señal + nodo común)	± 10 V de AGND
Exactitud absoluta	± 200 mV
Ancho de banda	20 KHz mínimo, >50 KHz típico

Fuente: Datasheet MyRIO1900

Realizado por: Darquea, José; 2020

2.10 Construcción de circuitos impresos

Las placas electrónicas empleadas, desarrolladas mediante el *software* Proteus 8.6 *Professional* se han visto simplificadas debido a la circuitería interna existente dentro de MyRIO 1900, lo cual provoca que el *software* desarrollado en *LabVIEW* sea más elaborado y complejo. El uso de los distintos puertos que ofrece MyRIO brinda de una manera ordenada el acceso a los recursos de la tarjeta de muy alta complejidad ubicada en su interior y se administra mediante los instrumentos virtuales programados en *LabVIEW*.

Por cuestión de materiales disponibles en el mercado local y tecnología disponible para la presente investigación, se procede a emplear circuitos impresos de una sola capa (Figura 11-2 y Figura 12-2), del tipo convencionales con las pistas solo por el reverso de la tarjeta y con los elementos electrónicos en el anverso.

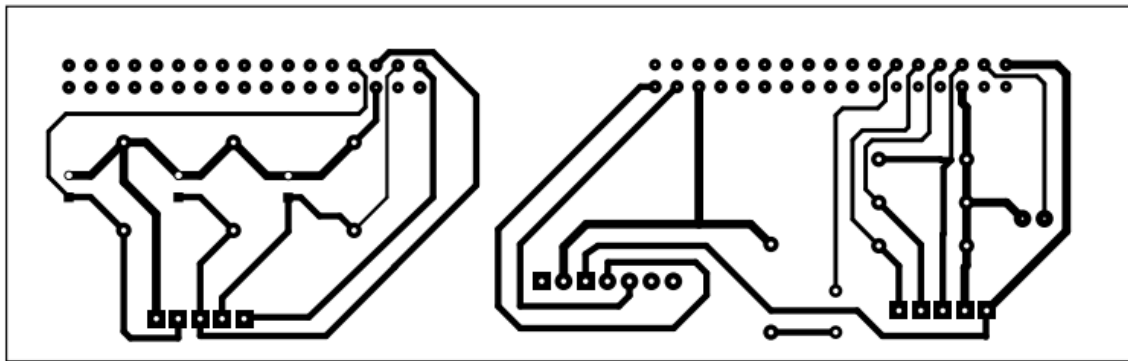


Figura 11-2.Placa impresa central

Realizado por: Darquea, José; 2020

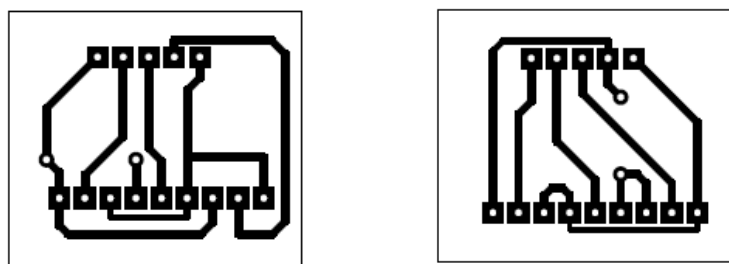


Figura 12-2. Placas periféricas de humedad y temperatura.

Realizado por: Darquea, José; 2020

Adicionalmente se puede observar en la Figura 13-2 la ilustración en 3D generada por *software* para la placa central y las placas periféricas de tal manera de constatar tamaños de elementos a emplearse y con ello cerciorarse que no se vayan a chocar o estorbar en la implementación. Una vez realizados estos pasos y con la información obtenida entonces se puede proceder al proceso de elaboración de las baquelitas en cuestión.

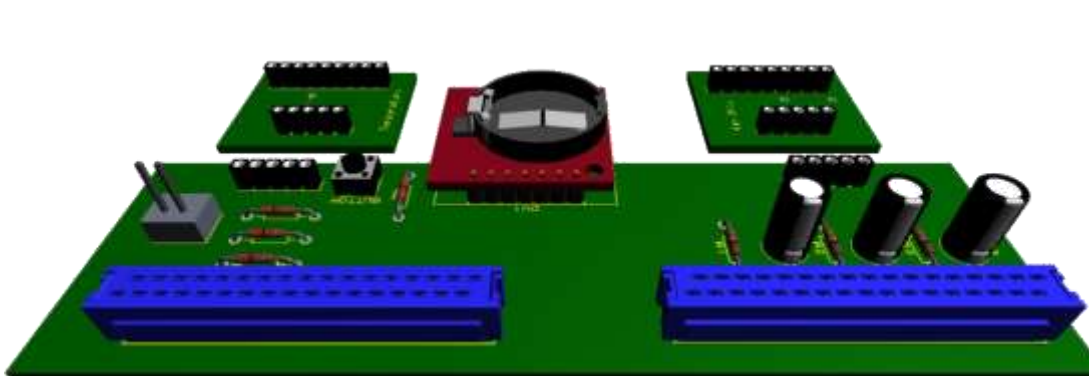


Figura 13-2. Modelo 3D de las placas

Realizado por: Darquea, José; 2020

2.11 Sistema de alimentación eléctrica

En función de lo analizado en 1.8. Sistema de alimentación eléctrica autónomo, se opta por una configuración de paneles solares que entreguen +18V. Con base en este análisis se concluye que el valor de voltaje a emplearse para la alimentación del sistema electrónico es de +12V.

La posibilidad de suministro eléctrico para los sensores desde la MyRIO1900 fue ya analizada en 2.6.5 Consideraciones generales, por lo que para el cálculo de carga máxima únicamente el sistema eléctrico alimenta a MyRIO, la cual de acuerdo a sus hojas técnicas registra un consumo máximo de 14W de potencia a un voltaje entre 6 y 16V. Esta al ser alimentada por un sistema de 12V se traduce en 1.17A de consumo máximo, el cual únicamente es un valor referencial ya que la tarjeta myRIO no va a funcionar al máximo de capacidad de potencia.

A través de la medición de la corriente que absorbe la tarjeta MyRIO se observó que el consumo es de 230mA, teniendo alimentados a todos los sensores y dispositivos desde la misma.

2.11.1 Diseño del sistema de alimentación fotovoltaico.

Existe un sin número de formas de dimensionar un sistema fotovoltaico, los factores de diseño dependen de la cantidad de radiación solar y de la demanda de energía. Se propone son los siguientes pasos:

1º) Estimación de consumo: Se suma la potencia de consumo que necesitará diariamente la estación meteorológica siendo esta ecuación (3-2),

$$\begin{aligned} P &= i_{max}v \\ P &= 230mA \cdot 12V \\ P &= 2,76W \end{aligned} \quad (3-2)$$

Una vez determinada la potencia total se emplea la expresión (4-2) para calcular la energía de consumo, distinguiendo entre los aparatos de corriente alterna y continua. En este caso es DC.

$$\begin{aligned} E_{DC} &= \sum P_{(DC)i} * t_{di} \\ E_{DC} &= 2,76[W] \cdot 12 [h] \\ E_{DC} &= 33,12Wh \end{aligned} \quad (4-2)$$

Dónde:

E_{DC}: Energía consumida en DC [Wh].

P_i: Potencia Nominal [W]

t_{di}: Tiempo diario de uso [h]

Se calcula el consumo total (5-2), teniendo en cuenta el rendimiento estándar de la batería del 95% (Aguilera, y otros, 2011)

$$E_T = \frac{E_{DC}}{\eta_{bat}} \quad (5-2)$$

$$E_T = \frac{33,12Wh}{0,95}$$

$$E_T = 34,86Wh$$

Dónde:

E_T : Energía real requerida por el sistema (consumo) (Wh)

η_{bat} : Rendimiento de la batería

2º) Mes Crítico: Tomando en cuenta que el módulo con el que se va a trabajar es de 12º de inclinación, calculamos el mes crítico en la Tabla 11-2, para cada mes usando los datos de radiación global obtenidos en el Atlas de Radiación Solar de Ecuador,

Tabla 11-2. Mes crítico de radiación solar

MES	Gd (12º)
Enero	10,27
Febrero	10,43
Marzo	10,84
Abril	10,15
Mayo	9,96
Junio	9,64
Julio	10,03
Agosto	10,77
Septiembre	11,58
Octubre	11,38
Noviembre	11,51
Diciembre	11,26

Fuente: (Aguilera, y otros, 2011)

Realizado por: Darquea, José; 2020

3º) Número total de módulos:

A partir de esta ecuación (6-2), podemos dimensionar la potencia máxima que debe entregar un panel para cubrir la cantidad de consumo de la estación.

$$N_T = \frac{E_T}{P_P G_d P_G} \quad (6-2)$$

$$P_P = \frac{34,86 \left[\frac{Wh}{m^2} \right]}{1 \cdot 9,64 \cdot 0,90}$$

$$P_P = 4,02W$$

Dónde:

E_T : Energía real requerida (Wh)

P_{Pmax} : Potencia Pico del Módulo

Gd: Radiación Global sobre una superficie inclinada un ángulo 12° en el mes crítico

P_G : Factor Global de Pérdidas (suele variar entre 0.65 y 0.9)

4º) Dimensionado del Sistema de Acumulación (Batería)

Máxima Profundidad de Descarga: En baterías estacionarias de plomo-ácido un valor adecuado de este parámetro es de 0.7.

Días de Autonomía: Los días de autonomía dependen entre otros factores del tipo de instalación y de las condiciones climáticas del lugar, en la presente investigación se plantea que tenga una autonomía mínima de 1 día.

$$C_n = \frac{E_T N}{P_d} \quad (7-2)$$
$$C_n = 34,86 \cdot \frac{1}{0,70}$$
$$C_n = 49,80Wh$$
$$C_n = \frac{49,81[Wh]}{12,00[v]}$$
$$C_n = 4,15Ah$$

Dónde:

C_n : capacidad nominal de la batería (Wh ó Ah)

E_T : Energía real requerida (Wh)

P_d : Máxima Profundidad de descarga de la batería (0,7)

V_{Bat} : tensión nominal de la batería (V)

N: 1 día de autonomía

Adicionalmente es necesario considerar las pérdidas en el cableado, los días en que el sol no será una buena fuente energética durante las horas tradicionales de sol y se concluye que la batería debe tener una capacidad mínima de 5Ah, y con un voltaje igual a 12V.

En lo que se refiere al controlador de carga debe operar al voltaje del sistema que es 12 V y debe ser capaz de manejar la corriente de la carga máxima a la par que maneja la corriente de carga de la batería por lo que se opta por una capacidad de 5A.

2.11.2 Panel Solar

Este panel (Figura 14-2) suministra energía eléctrica DC hacia las cargas durante las horas de sol y a su vez, si la intensidad de radiación solar lo permite, carga la batería, de tal manera que esta última sea la responsable de suministrar energía eléctrica al sistema durante las horas de la noche en las que el panel no se encuentra operativo.



Figura 14-2. Panel solar

Realizado por: Darquea, José; 2020

Tomando en consideración lo sentenciado en 2.11 Sistema de alimentación eléctrica, se opta por un panel solar encargado de la generación eléctrica con las características de la **Tabla 12-2**:

Tabla 12-2. Características del panel solar

Marca	<i>ECO GREEN ENERGY</i>
Tipo	EGE-15P-36
Potencia máxima nominal (Pmax)	15,00 w
Corriente a Pmax (Imp)	0,83 A
Voltaje a Pmax (Vmp)	18,18 V
Corriente de corto circuito (Isc)	0,91 A
Voltaje a circuito abierto (Voc)	22,41 V
Temperatura nominal de operación de la celda (NOCT)	45 ± 2 °C
Peso	1,80 Kg
Dimensiones	350x350x17 mm
Tipo de celda	Policristalina

Fuente: Datasheet Panel Solar

Realizado por: Darquea, José; 2020

2.11.3 Batería

En lo que respecta a la batería (Figura 15-2) las consideraciones de cálculo de la batería se explican en el apartado 2.11 Sistema de alimentación eléctrica, de donde se desprende que se requiere una batería de 12V con una capacidad de 5 Ah como mínimo.

El sistema de la batería requiere de dos parámetros importantes a garantizar, el primero relacionado con la capacidad de amperios hora para suministrar energía a la carga el suficiente

tiempo mientras no haya radiación solar sin quedarse desabastecida; en tanto que el segundo corresponde a disponer de una capacidad de carga lo suficientemente rápida para que aproveche las horas de sol, este segundo apartado no depende únicamente de la batería sino del panel solar en cuanto a su potencia y voltaje. Sus características de energía se aprecian en la **Tabla 13-2**.



Figura 15-2. Batería

Realizado por: Darquea, José; 2020

Tabla 13-2. Características de la batería recargable

Marca	OUTDO
Tipo	Batería recargable de plomo ácido sellada
Modelo	OT7.2-12
Voltaje nominal	12 V
Amperios hora	7,2Ah / 20HR

Fuente: Datasheet Batería

Realizado por: Darquea, José; 2020

2.11.4 Controlador de carga

El controlador de carga es el encargado de orquestar el sistema eléctrico del sistema constituyéndose el mismo el punto donde se interconectan el panel solar, la batería y la carga. El controlador debe tener la capacidad de manejar las corrientes provenientes de cada uno de los dispositivos mencionados además de trabajar de acuerdo con los niveles de voltaje correspondientes.

De acuerdo a estos preceptos se ha optado por el controlador de carga solar DHS-5S-6V12V5A que se muestra en la Figura 16-2 y con las características dadas en la 000000**Tabla 14-2**.



Figura 16-2. Controlador de carga solar
Realizado por: Darquea, José; 2020

Tabla 14-2. Características del controlador de carga solar

Parámetro	Valor
Modo de carga	PWM
Corriente del sistema	5 ^a
Protección de sobrecarga y cortocircuito	1,25 veces la corriente nominal provoca apagado por 5 minutos, con recuperación automática después de 5 minutos. ≥ 3 veces la corriente nominal se activa la protección de corto circuito
Grado de protección	IP30
Medidas	53,4 x 68,6 x 22,0 mm
Cables para instalación recomendados	AWG22
Peso	0,05 Kg

Fuente: Datasheet Controlador de Carga Solar

Realizado por: Darquea, José; 2020

2.12 Esquema electrónico del dispositivo tecnológico

A continuación, se muestra la arquitectura de la estación meteorológica autónoma en la Figura 17-2, la cual representa la conexión de cada uno de los componentes.

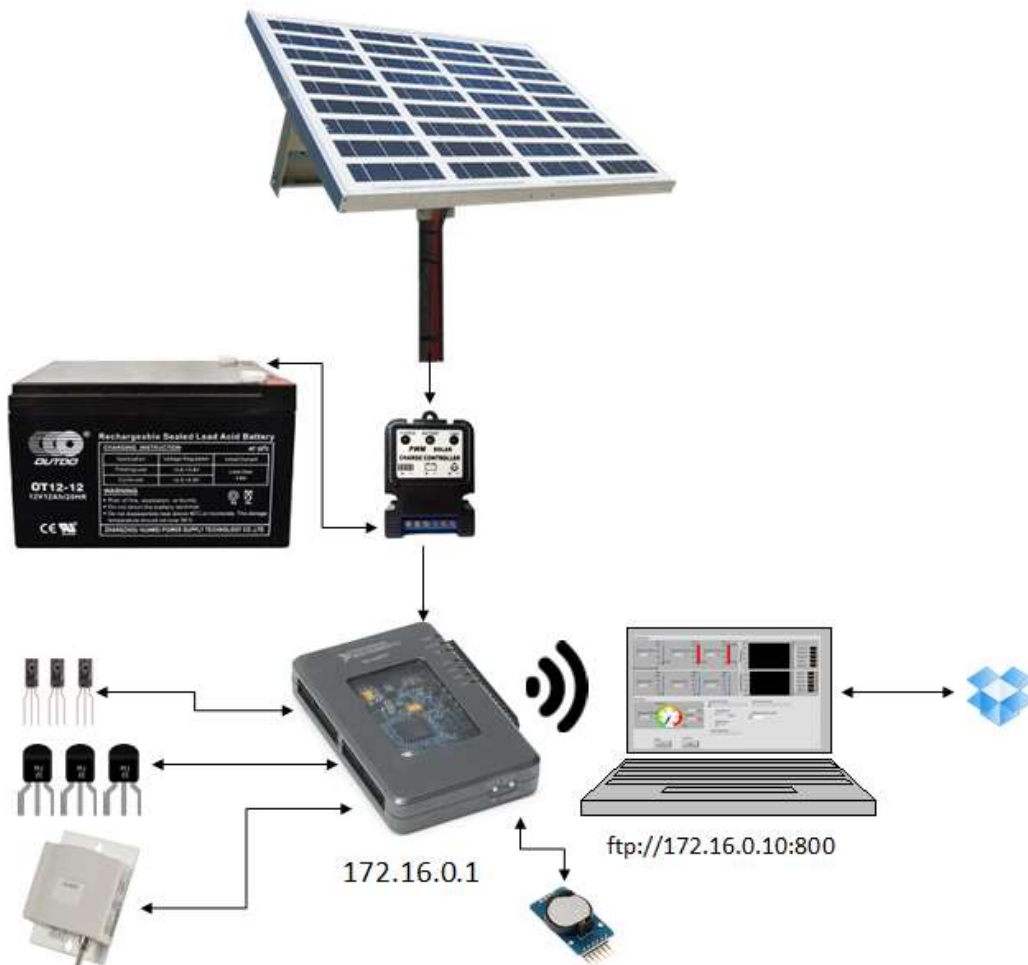


Figura 17-2. Esquema de conexiones de la estación meteorológica autónoma

Realizado por: Darquea, José; 2020

2.13 Software del Prototipo

La parte medular que requiere de programación, es la tarjeta empleada NI MyRIO 1900 para la cual se utiliza el *Software NI LabVIEW 2018* con Licencia adquirida por la ESPOCH, dentro del cual se desarrolla el código de bloques acorde a las necesidades actuales de la estación meteorológica automática.

2.13.1 Programación de la tarjeta NI MyRIO 1900

El entorno de programación *LabVIEW* es el requerido para MyRIO 1900, en cuya memoria se carga el aplicativo desarrollado como VI (Virtual Instrument) y corre de manera independiente y permanente mientras MyRIO 1900 tenga alimentación eléctrica.

A manera inicial se requiere de la instalación del *software* incluido en el DVD que se adjunta a la MyRIO1900, el cual consiste en un instalador de los componentes para arrancar el dispositivo

inicialmente mediante el cable USB, y proceder a las pruebas de los sensores integrados e indicadores de MyRIO1900. Una vez realizado este procedimiento el dispositivo queda listo para ser programado mediante *LabVIEW*. (MyRIO, 2018)

El *software* desarrollado para la adquisición de los datos es el que comanda el intervalo de tiempo con el que se leerá cada sensor, además del tratamiento de los datos obtenidos, monitoreo y finalmente almacenamiento de los mismos.

Cada una de estas etapas mencionadas tiene sus propias particularidades y posibilidades de adaptabilidad y edición dependiendo de los objetivos actuales y futuros que se le quiera dar al enfoque investigativo de la estación meteorológica, de tal manera que el *software* desarrollado es donde se encuentra la mayor flexibilidad que incluso se traduce en *hardware* ya que es posible incluir sensores adicionales con su respectiva codificación para adquisición, tratamiento y almacenamiento de la información, a lo cual se suma cambio del tiempo de muestreo, acondicionamiento de las señales, formato de presentación del almacenamiento de datos, y demás alcances del programa desarrollado.

LabVIEW ofrece la posibilidad de programar y configurar las entradas, salidas y las distintas prestaciones internas de MyRIO1900 brindando la oportunidad de emplear todos los elementos de las librerías disponibles para programar el VI a ser cargado en MyRIO1900, constituyéndose así en un *software* muy elaborado en el que se registran intrincadas acciones diferentes referentes a la manipulación de datos, es de imperiosa necesidad el uso de varios lazos de programación como es el caso de *While loop*, *Case loop* y *Sequence loop* con el propósito de obtener los resultados esperados de una forma eficiente, lógica y entendible para acciones de modificación o ampliación.

En la programación de MyRIO1900 se emplea lazos lógicos, condiciones lógicas y algebraicas, retardos de tiempo, secuencias, adquisición y comparación de señales, acondicionamientos de señales y tratamiento de datos, cuya lógica total se explica en el diagrama de flujo mostrado en el Gráfico 6-2.

Las aplicaciones en *LabVIEW* imitan la apariencia de instrumentos reales (como multímetros, generadores de señal, osciloscopios, etc), por lo que son llamados instrumentos virtuales o VIs. Todas las aplicaciones de *LabVIEW* tienen un panel frontal, un panel de ícono / conector y un diagrama de bloques. El panel frontal sirve como la imitación de la interfaz de usuario en el mundo real del dispositivo que el VI está definiendo (National Instruments, 2016).

Los programadores pueden representar los datos que el instrumento está analizando en múltiples formas. El panel de ícono / conector es análogo a los terminales o enchufes en un instrumento en el mundo real que se conectan a otros dispositivos. Los VIs pueden llamar a otros VIs (conocidos como subVIs) que están todos conectados, y, a su vez, cada uno de esos subVIs puede contener más VIs, similar a llamar a las funciones en un lenguaje de programación basado en texto (National Instruments, 2016).

Por último, el diagrama de bloques es donde el programador crea realmente el código. A diferencia de los lenguajes de programación basados en texto tales como C, Java, C++ y Visual Basic; *LabVIEW* utiliza íconos en lugar de líneas de texto para crear aplicaciones. Debido a esta diferencia clave, el control de ejecución está a cargo de un conjunto de reglas para el flujo de datos en lugar de ser secuencial. Los cables que conectan los nodos (elementos de codificación) y VIs en el diagrama de bloque determinan el orden de ejecución de código. En resumen, los VIs de *LabVIEW* son gráficos, impulsados por el flujo de datos y la programación basada en eventos, y son multiobjetivos y multiplataforma. También tienen la flexibilidad orientada a objetos y características multithreading y de paralelismo. Los VIs se pueden implementar en tiempo real y en FPGA (National Instruments, 2016).

La secuencia del programa viene dada de acuerdo al siguiente orden:

- a) Adquisición de datos reportados por parte de los sensores.
- b) Tratamiento de la información mediante operaciones matemáticas.
- c) Bucle preguntando si se requiere de un nuevo archivo .csv de almacenamiento de datos.
- d) En caso de que se requiera nuevo archivo .csv se lo crea, caso contrario se actualiza el archivo existente con los nuevos datos adquiridos.
- e) Mediante el ordenador conectado por Wi-Fi haciendo uso del panel virtual o mediante el pulsador del circuito impreso se puede solicitar guardar los datos en almacenamiento externo.
- f) Si la orden de almacenamiento externo ha sido dada entonces se la efectúa, procediendo acto seguido a borrar el archivo del almacenamiento interno. En caso que esta orden no haya sido dada entonces nada de esto se realiza.
- g) Bucle preguntando si se ha pulsado el botón de parada.
- h) En caso de haberse pulsado el botón de parada, entonces el ciclo termina, caso contrario regresa al literal a.

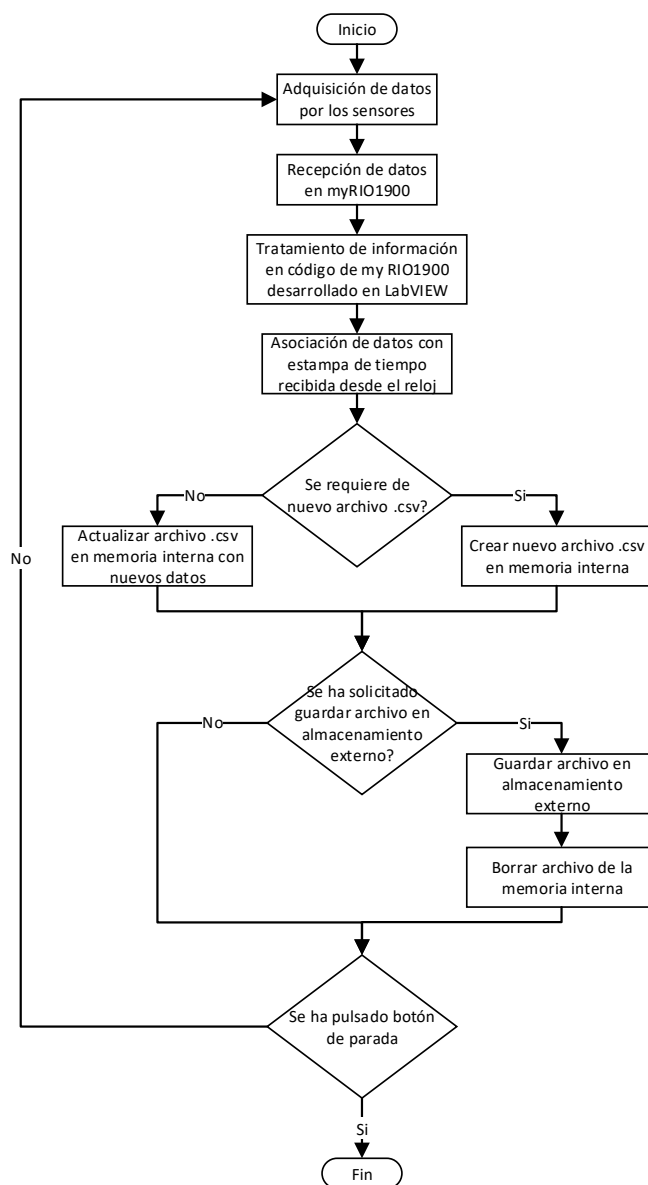


Gráfico 6-2. Diagrama de flujo de procesamiento de datos

Realizado por: Darquea, José; 2020

En el caso de temperatura y de humedad relativa al emplearse tres sensores para cada variable entonces se hace uso del valor promediado que reportan dichos sensores con el objetivo de mejorar la exactitud de la medida. Este proceso se realiza a través de un subVI para cada variable.

Todos los sensores empleados reportan sus datos por medio de valores de magnitudes de voltaje variable, y por su parte la MyRIO1900 posee las entradas analógicas suficientes para recibir dichas señales de voltaje incluso sin la necesidad de acondicionamiento físico externo ya que el voltaje permitido de admisión para las entradas analógicas (0 – 5V) es suficiente para manejar el espectro de voltajes que reportan los sensores al realizar sus mediciones.

En la MyRIO1900 las entradas analógicas correspondientes a los puertos MXP A y B, puerto MSP C y conector estéreo de audio son multiplexados a un único convertor análogo digital que muestrea todos los canales.

El convertor análogo digital posee una resolución de 12 bits, lo cual aplicado para los conectores MXP A y B empleados para las mediciones en la actual aplicación, los mismos que poseen un rango de voltaje de admisión de 5V se tiene que el bit menos significativo (LSB por sus siglas en Inglés) viene dado por la ecuación (8-2):

$$LSB = \text{Rango nominal} \div 2^{ADC \text{ Resolution}} \quad (8-2)$$

$$LSB = 5V \div 2^{12} = 1.221 \text{ mV}$$

Esta sensibilidad del convertor análogo digital con respecto a los sensores empleados se puede analizar de la siguiente manera:

Para el sensor de temperatura LM35 se tiene que dicho sensor posee una variación de 10.0 mV/°C por lo que al ser sometido al presente convertor análogo digital, la sensibilidad de variación de temperatura por este aspecto se ve limitada a 0.1221°C, sin embargo la precisión de este sensor es mayor y corresponde a 0.5°C por lo que la medida del sensor no es afectada de ninguna manera y se puede aprovechar al máximo las especificaciones de precisión del LM35.

Para el caso del sensor de humedad relativa H1H-4000 se tiene que el mismo responde a ecuación (9-2).

$$V_{salida} = (V_{alimentacion}) * (0.0062 * (\text{medición humedad relativa}) + 0.16) \quad (9-2)$$

$$V_{salida} = 5V * (0.0062 * (\text{medición humedad relativa}) + 0.16)$$

Donde los límites son:

$$V_{salida_m\acute{a}x} = 5V * (0.0062 * 100 + 0.16) = 3.9V$$

$$V_{salida_m\acute{i}n} = 5V * (0.0062 * 0 + 0.16) = 0.8V$$

Y considerando que la precisión del sensor es de 3.5% se tiene que el paso de medida del convertor análogo digital debe ser menor a la ecuación (10-2):

$$\text{Paso de medida m\acute{a}ximo} = (V_{salida_m\acute{a}x} - V_{salida_m\acute{i}n}) * \frac{3.5}{100} \quad (10-2)$$

$$\text{Paso de medida m\acute{a}ximo} = (3.9 - 0.8) * \frac{3.5}{100} = 0.1085 \text{ V} = 108.5 \text{ mV}$$

Por lo tanto, el paso de medida del convertor 1.221mV es mucho menor al tope 108.5mV establecido de acuerdo a los requerimientos de precisión y rango del sensor concluyendo que el convertor AD no afecta la precisión de la medida en absoluto.

El sensor de presión atmosférica Vaisala PTB110 presenta un rango de medición entre 500 y 1100 hPa, un voltaje de salida entre 0 y 5V, y una resolución de 0.1hPa, de donde se tiene la ecuación (11-2):

$$\begin{aligned} \text{Paso de medida máximo} &= (V_{\text{salida_máx}} - V_{\text{salida_mín}}) * \frac{\text{precisión}}{\text{rango}} & (11-2) \\ \text{Paso de medida máximo} &= (5 - 0) * \frac{0.3}{1100 - 500} = 0.0025V = 2.5mV \end{aligned}$$

Se tiene por ende que para no afectar la precisión de la medida del sensor de presión se requiere que el conversor AD posea una resolución menor a 2.5mV, lo cual es absolutamente respetado por los 1.221mV que garantiza el conversor AD.

De esta manera se ha verificado que el conversor análogo digital con sus 12 bits de resolución no afecta de manera alguna a ninguno de los tres tipos de sensores empleados en cuanto a su precisión de medida por lo que los datos adquiridos únicamente se ven condicionados por los valores propios presentados por las hojas técnicas de los sensores.

El acondicionamiento de las señales de los sensores se lo realiza dentro de la programación en *LabVIEW* incorporada en la *MyRIO1900* con el objeto de llevar la señal a valores tratables, con los que se pueda trabajar para lo que corresponde al almacenamiento y visualización de los datos.

Dentro de un ciclo for de 5 interacciones se encuentra una estructura case, para la generación del orden de recolección de datos. En el primer caso (Gráfico 7-2) se lee la fecha, en el segundo (Gráfico 8-2) se lee la hora con minutos y segundos, en el tercer caso (Gráfico 9-2) se lee la presión en voltaje y se transforma a hPa, en el cuarto caso (Gráfico 10-2) se lee la temperatura en voltaje y se transforma a °C y en el último caso (Gráfico 11-2) se lee la humedad y se transforma en %RH.

En caso de que la alimentación eléctrica presente una falla, se ha previsto el uso de un reloj dotado de pila tal que siga operativo y con la fecha y hora correctas, tal que el momento en que el suministro eléctrico normal regrese la fecha y hora no se hayan atrasado ni reseteado, lo cual es de vital importancia para una aplicación como la actual en la que se registra datos temporizados en base a los cuales se realiza monitoreo o estudios comparativos, tendencias y análisis siempre referidos al tiempo. Este proceso se ejecuta a través de dos subVis que permiten actualizar la fecha y hora del RTC y a través de él actualizar la fecha y hora del sistema interno de la tarjeta (K, y otros, 2014).

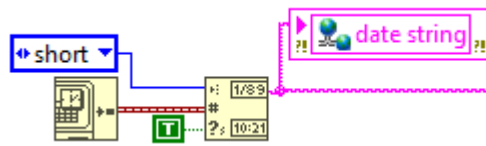


Gráfico 7-2. Diagrama de bloques caso 0

Realizado por: Darquea, José; 2020

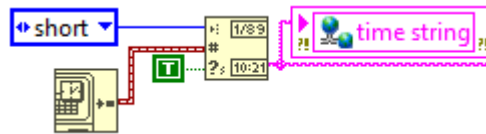


Gráfico 8-2. Diagrama de bloques caso 1

Realizado por: Darquea, José; 2020

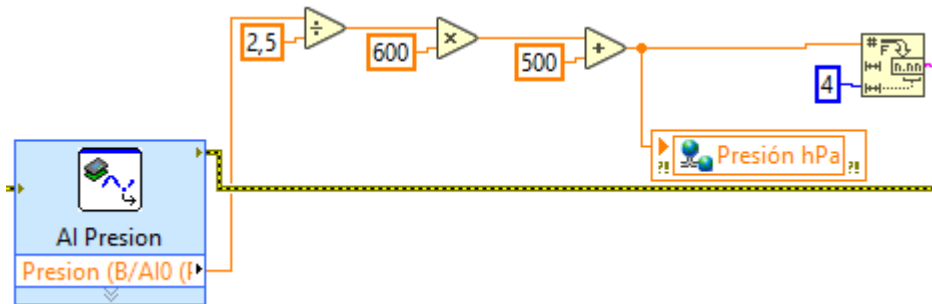


Gráfico 9-2. Diagrama de bloques caso 2

Realizado por: Darquea, José; 2020

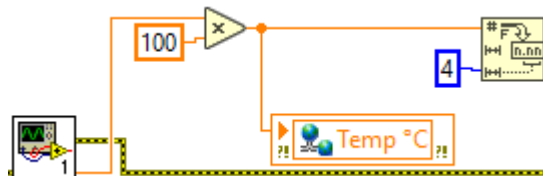


Gráfico 10-2. Diagrama de bloques caso 3

Realizado por: Darquea, José; 2020

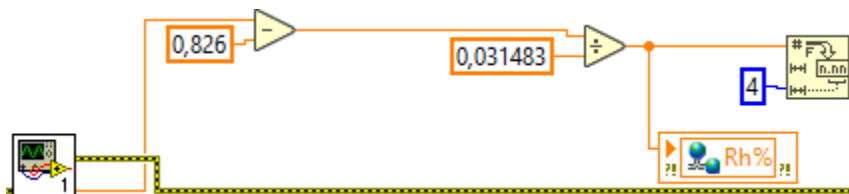


Gráfico 11-2. Diagrama de bloques caso 4

Realizado por: Darquea, José; 2020

Una falla en la temporización de los datos obtenidos por la estación meteorológica significa un lote de datos echados a perder especialmente en el caso en el que la estampa de tiempo de

adquisición de los datos es muy pequeña, hablando en el orden de los pocos minutos o segundos.

2.13.1.1 Periodo de lectura y almacenamiento de las variables medidas

El periodo de tiempo que se emplea entre una lectura y otra es fijado dentro de la programación de la tarjeta MyRIO1900, de acuerdo al tiempo de espera establecido, es por ello que se requiere de un análisis de las variables a medirse para establecer este periodo (Gráfico 12-2)

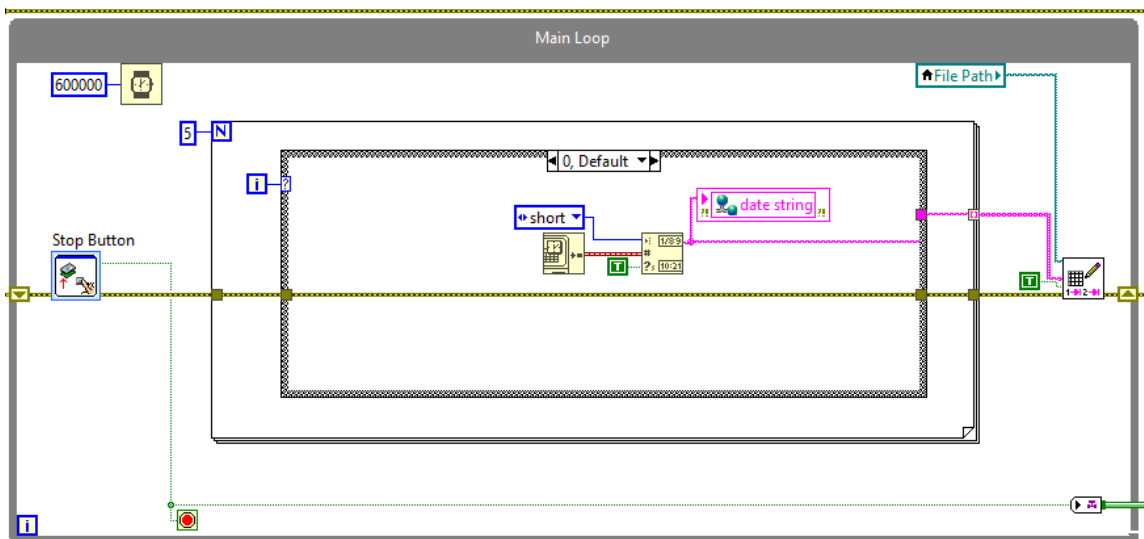


Gráfico 12-2. Diagrama de bloques del *loop* de lectura y registro de datos

Realizado por: Darquea, José; 2020

Las variables ambientales supervisadas en el presente trabajo, como lo es la temperatura, humedad relativa y presión atmosférica son variables que no requieren de una medición continua en el orden de los segundos ya que sus variaciones no serán perceptibles de hacerlo así, por ende se requiere de un periodo de tiempo de alrededor de 10 minutos entre mediciones para obtener datos relevantes que indiquen tendencias.

Este periodo de tiempo, permite obtener tendencia de las variables, cambios de valor perceptibles, y adicionalmente el hecho de que el dato sea a tiempo real se puede interpolar la curva de datos obtenida en el poco usual caso de que se requiera saber el valor de una variable para un determinado minuto específico. Lográndose de esta manera el cometido planteado, ahorrando a la par recursos computacionales tanto de procesamiento como de almacenamiento de datos.

Se destaca que el *software* codificado dentro de la tarjeta MyRIO queda totalmente a disposición para cambios, entre ellos cambios en los periodos de muestreo de las señales adquiridas, para futuras investigaciones o fines pertinentes.

En la **Tabla 15-2** se puede observar los datos recabados minuto a minuto para la fecha y hora que se muestra de acuerdo a lo cual se establece que no existen cambios sensibles para las variables en cuestión en rangos de medición cortos, lo cual se corrobora al obtener desviaciones respecto a la media muy bajas para todos los datos medidos.

Tabla 15-2. Datos muestreados con un minuto de periodo

01/22/20	Datos obtenidos			Desviación respecto a la media en porcentaje			
	Hora	Presión bar	Temperatura °C	Humedad %	Presión %	Temperatura %	Humedad %
	7:18:02 PM	730,8590	18,7581	55,4721	-0,0040	0,8090	0,4990
	7:19:02 PM	730,8590	18,6768	55,0068	-0,0040	0,3720	-0,3440
	7:20:02 PM	730,8590	18,7581	55,1490	-0,0040	0,8090	-0,0870
	7:21:02 PM	730,8590	18,7988	55,4075	-0,0040	1,0280	0,3820
	7:22:02 PM	730,8590	18,5140	55,1361	-0,0040	-0,5030	-0,1100
	7:23:02 PM	730,8590	18,5547	55,2395	-0,0040	-0,2840	0,0770
	7:24:02 PM	731,1520	18,4733	55,2007	0,0360	-0,7220	0,0070
	7:25:02 PM	730,8590	18,4733	55,3299	-0,0040	-0,7220	0,2410
	7:26:02 PM	730,8590	18,6361	56,1183	-0,0040	0,153	1,669
	7:27:02 PM	730,8590	18,4326	53,9082	-0,0040	-0,940	-2,335
	Media	730,889	18,60758	55,19681			

Realizado por: Darquea, José; 2020

2.14 Sistema de comunicación y transmisión de datos

Ahora se presenta el sistema de comunicación que se utiliza para la transmisión de datos.

2.14.1 FileZilla

FileZilla es un *software* libre que consiste en un cliente *FileZilla* y un servidor *FileZilla* que funciona como aplicación FTP multiplataforma, que permite al usuario transferir archivos desde un servidor local a un servidor remoto usando la red, disponible para *Windows*, *Linux* y *Mac OS*.

El *software FileZilla* disponible en distintos idiomas y escrito en C++, *wxWidgets* posee las siguientes características como *FileZilla* Cliente:

- Transferir archivos usando FTP y FTP encriptado como FTPS (servidor y cliente) y SFTP.
- Soporta IPv6.

- Soporta pausar y continuar el proceso de transferencia de archivos.
- Interfaz de usuario tabulada para permitir multitarea.
- Sitio administrativo para listado de servidores y cola de transferencias para ordenar las tareas de transferencia de archivos.
- Marcadores para acceso fácil al uso más frecuente.
- Arrastrar y soltar para cargar y descargar.
- Comparativa de directorio para comparar archivos locales y archivos de servidor en el mismo directorio.
- Límites de velocidad de transferencia de archivos configurables, lo cual ayuda a reducir los errores por transferencia.
- Filtros para nombres de archivos.
- Asistente de configuración de red para ayuda para configuración de ajustes de red confusos “paso a paso”.
- Edición remota de archivos.
- Si la conexión se ha colgado, se chequea con el envío de un comando “*keep alive*”.
- Soporte a HTTP/1.1, SOCKS5 y FTP-Proxy.
- Identificarse para un archive.
- Navegación de directorio sincronizada.
- Búsqueda de archive remota en servidor.
- Multiplataforma. *Windows*, Linux, BSD, Mac OS X.
- Soporta reanudar y transferir archivos de gran tamaño >4GB.
- Contraseña de almacenamiento protegida con una contraseña máster.

Del lado de *FileZilla* Servidor se tienen las siguientes características:

- FTP y FTP sobre TLS (FTPS).
- Soporta IPv6.
- Límites de velocidad.
- Soporta archivos de gran tamaño >4GB.
- Administración remota.
- Sistema de permisos con usuarios y grupos.
- Filtros IP.

2.14.2 *WebDAV*

WebDAV (*Web-based Distributed Authoring and Versioning*) es un conjunto de extensiones a el protocolo HTTP que posibilita a los distintos usuarios crear y editar archivos de manera colaborativa en servidores web remotos.

El protocolo WebDAV permite el mantenimiento de las propiedades a cerca de un autor o fecha de modificación de los documentos, manejo de recursos de la documentación y protección contra sobreescritura.

WebDAV se define como el estándar *Internet Engineering Task Force* (IETF) para autoría colaborativa en la Web. Adicionalmente las características de WebDAV incluyen:

- Bloqueo (también conocido como control de concurrencia), el cual previene de sobreescritura accidental de archivos.
- Propiedades XML, que facilitan las operaciones (como almacenamiento y recuperación) en metadatos, tal que la información pueda ser organizada.
- El protocolo DAV, que permite establecer propiedades, borrar y recuperar.
- El protocolo DASL (*DAV Searching and Locating*), posibilita búsquedas basadas en valores de propiedades para ubicar recursos en la Web.

2.14.3 *Bloque de Conexión WebDAV y Servidor FTP*

Se requiere del guardado externo de la información en servidor para respaldo y posterior análisis, para lo cual se emplea el servicio de Webdav y *FileZilla* con el objeto de cargar los archivos en servidor externo o computador remoto.

Se determina que los archivos generados deben tener su indicativo para distinguirse entre sí de acuerdo a su nombre por lo que se opta por incorporar la hora y fecha de generación del archivo en el nombre del mismo con lo que se consigue disponer de una manera de a más de distinguir entre archivos saber la fecha y hora de corte de la información contenida en el mismo.

En el Gráfico 13-2 se muestra el entorno gráfico de programación para gestionar el archivo almacenado en memoria interna y transferirlo inalámbricamente al servidor <ftp://172.16.0.10:800/Data/>, creando un archivo con la información descargada con el nombre generado a partir de la fecha y hora de descarga.

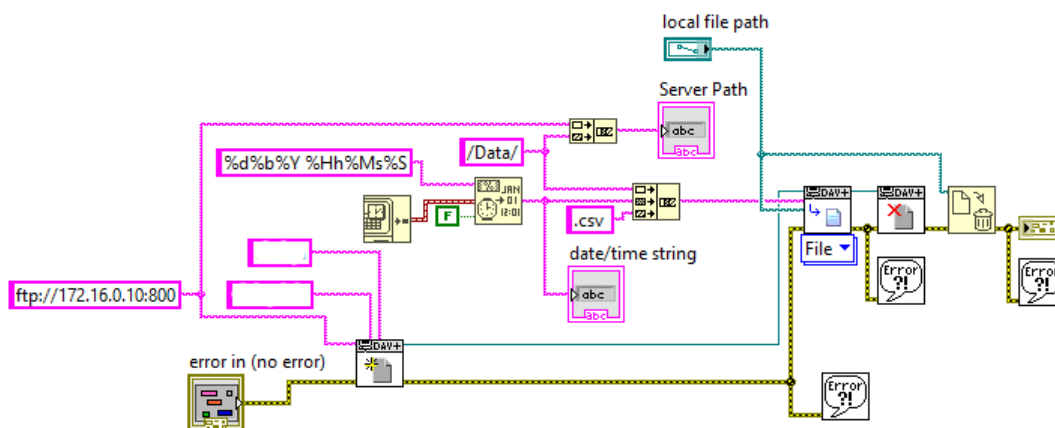


Gráfico 13-2. Diagrama de flujo de procesamiento de datos

Realizado por: Darquea, José; 2020

2.15 Ensamblaje de la estructura

La estructura está compuesta por el esqueleto, el gabinete de equipos y el panel solar. En general las estructuras de las estaciones meteorológicas cumplen importantes funciones respecto a asegurar los equipos aislándolos de los elementos ambientales que no deben ser expuestos y sirviendo de soporte para las distintas partes y piezas, y en cierta manera asegurando los bienes del fácil alcance frente a hurtos.

El gabinete de equipos es el lugar donde se concentran los distintos dispositivos electrónicos y eléctricos en su interior. El gabinete contiene en su interior a *MyRIO 1900*, la placa electrónica central, la batería, el controlador de carga y el sensor de presión atmosférica cuyo variable de medición no se afecta dentro del gabinete.

El gabinete debe proveer de holgura suficiente a los equipos alojados en su interior con el propósito de evitar sobrecalentamientos, disponer de un orden adecuado en cuanto al cableado y equipos, proveyendo de comodidad para actividades de revisión y mantenimiento, por estos motivos expuestos se emplea el gabinete mostrado en la Figura 18-2 de dimensiones 40cm de alto, 30cm de ancho y 16cm de profundidad.

Los paneles solares se ubican en la parte de superior de la estructura con el propósito lógicamente de situarse en el lugar más privilegiado en cuanto a radiación solar, incluso en las estaciones meteorológicas se debe cuidar que no existan obstáculos que hagan sombra a los paneles tales como estructuras, accidentes geográficos y sobre todo vegetación, la cual debe ser periódicamente monitoreada y retirada de ser el caso.

2.16 Instalación

A continuación, se presenta las distintas instalaciones e implementaciones concernientes a los distintos componentes de la estación meteorológica automática, en lo que se refiere a estructura, sistema eléctrico e instrumentación.

2.16.1 Estructura

La estructura debe brindar el soporte adecuado teniendo que tolerar las inclemencias climáticas y constituir un albergue seguro para los equipos. Tomando este aspecto en consideración se ha optado por emplear un gabinete sellado de doble seguro con medidas de 40 cm de alto, 30 cm de ancho y 16 cm de profundidad, que a su vez alberga a un fondo de sujeción de equipos de medidas 36,7 cm de alto y 26,7 cm de ancho. Este gabinete se ha anclado a un soporte vertical mediante 3 puntos de sujeción lineales en vertical correspondientes a dos remaches un perno central, dicho soporte vertical posee dos metros de envergadura y en su parte inferior se ancla a un trípode de 1,1 m de altitud el cual es el que brinda la estabilidad requerida para la estructura completa.

Por su parte el soporte vertical en su punto más alto brinda cabida y sujeción para el panel solar de dimensiones 350x350x17 mm orientado hacia arriba de tal manera que aproveche los rayos del sol de la mejor manera dentro de lo técnicamente posible dentro de los alcances del presente proyecto.

2.16.2 Sistema eléctrico

En lo que respecta al montaje de los dispositivos electrónicos y eléctricos dentro del gabinete de equipos se realiza de una manera lógica y ordenada, como se muestra en la Figura 18-2. Se dispone la batería en la parte inferior del gabinete debido a su peso, además de razones de seguridad con respecto a los dispositivos electrónicos alejándola de ellos para que no exista motivos de interferencia, o problemas en caso de sulfatación de pines de la batería que cayera encima de otros dispositivos si esta fuera ubicada en un lugar más elevado, sin embargo este último escenario solo sería factible si el mantenimiento no sería realizado de una manera correcta o por carencia del mismo.

Aparte de la batería, en general la parte de alimentación eléctrica ha sido ubicada en la parte inferior del gabinete para agrupar dichos dispositivos y reducir las implicaciones del cableado. La tarjeta myRIO se encuentra en la parte central del tablero donde la misma tiene rápido acceso a conexiones eléctricas hacia la parte inferior y a la vez hacia los sensores periféricos ubicados

en la parte superior, llevando la MyRIO una orientación tal que se optimice el uso de los buses de datos y no existan muchos cruces de cableado.



Figura 18-2. Implementación inicial dentro del gabinete.

Realizado por: Darquea, José; 2020

2.16.2.1 *Panel solar*

El panel solar se ubica en el mismo soporte. Gracias a un marco horizontal ubicado en la parte extrema superior del mismo. Esta altura de instalación favorece al panel para evitar en cierta medida posibles obstáculos que impidan el paso de luz solar y poder aprovechar la misma sobre un mayor rango de horas del día. Cabe destacar que se aprovecha que el tubo vertical del soporte es hueco en su interior para que el cable de conexión desde el panel solar hacia el controlador de carga pueda ir por el interior del tubo, contribuyendo de esta manera a la seguridad, estética y comodidad de la estación meteorológica.

2.16.3 *Instrumentación*

Se la coloca dentro del gabinete de equipos para que los sensores resistan de mejor manera las inclemencias climáticas, adicionalmente se ha provisto al gabinete de equipos de rendijas como las que se indican en la Figura 19-2.

Para la inclusión de dichas rendijas se ha empleado silicona para sellar los bordes de contacto entre la rendija y el tablero. Se destaca adicionalmente que la rendija tiene una serie de delgados agujeros horizontales que hacia su parte exterior poseen una visera diagonal con el propósito de evitar que ingresen agua proveniente de lluvia y en cierta medida polvo.

La disposición de los sensores dentro del gabinete de equipos se ha realizado de tal manera que los mismos queden en una posición cercana a las rendijas instaladas y con ello puedan realizar mediciones de las variables climatológicas lo más fieles a la realidad.



Figura 19-2. Rejillas del gabinete.

Realizado por: Darquea, José; 2020

Respecto al sensor de presión atmosférica se recomienda su instalación en posición vertical con los conectores apuntando hacia abajo con el propósito de evitar la acumulación de agua condensada o polvo, lo cual ha sido respetado de acuerdo a lo que se evidencia en la Figura 18-2

CAPÍTULO III

VALIDACIÓN DE PROTOTIPO

En el presente capítulo se trata a cerca de las distintas pruebas sometidas a la estación meteorológica diseñada y sus resultados, con el objetivo de garantizar un óptimo desempeño del equipamiento a la vez que se alcanzan los objetivos investigativos al comparar su funcionamiento con la EMA M1036 del INAMHI.

Finalmente se realiza un estudio acerca del costo del proyecto con el objetivo de servir de referencia para futuras investigaciones que involucren comparaciones con el sistema actual o ampliaciones de lo ya obtenido en la presente investigación.

3.1 Pruebas de adquisición de datos de la estación meteorológica

El objetivo de estas pruebas es comprobar la correcta adquisición de datos provenientes de los sensores hacia la tarjeta myRIO1900.



Figura 1-3. Panel frontal del programa de supervisión de la estación meteorológica autónoma.

Realizado por: Darquea, José; 2020.

Una vez completado el diseño y construcción de la estación, realizamos la comprobación de la capacidad del proyecto para leer las variables meteorológicas seleccionadas, los mismos que se observan a través del panel frontal generado por el *software* de *LabVIEW* (Figura 1-3).

A través de esta prueba, se visualiza el funcionamiento del reloj de tiempo real, el reloj interno del sistema, los sensores de temperatura, humedad y presión atmosférica, la última medición de

las variables meteorológicas almacenadas internamente y una representación virtual del led físico de “funcionamiento” del programa de la estación meteorológica.

Se concluye que la adquisición de datos hacia la tarjeta MyRIO1900 es realizada de una manera satisfactoria, sin presentar errores ni interrupciones.

3.2 Pruebas de estabilidad de los sensores de la estación meteorológica automática

Debido que es posible programar la EMA diseñada para recolectar datos a determinado rango de tiempo, se recolectó 20 lecturas de cada uno de los siete sensores utilizados en la EMA en intervalos de 1 segundo. Los datos fueron tomados desde un archivo interno generado automáticamente por la tarjeta y posteriormente evaluados a través del cálculo de la media (\bar{X}), la desviación estándar (σ) y el coeficiente de variación utilizando el programa Excel 2013. Las mediciones se realizaron en un ambiente cerrado con una temperatura estable.

Tabla 1-3. Datos obtenidos para evaluar la repetitividad de cada sensor.

Hora	LM35 1 [°C]	LM35 2 [°C]	LM35 3 [°C]	HIH4000 1 [%HR]	HIH4000 2 [%HR]	HIH4000 3 [%HR]	PTB110 [hPa]
02:04:01	21,118	21,851	22,339	64,920	62,051	65,075	732,031
02:04:02	21,240	21,851	22,461	64,920	62,051	65,036	732,031
02:04:03	21,118	21,851	22,339	64,920	62,051	65,075	732,031
02:04:04	21,240	21,851	22,339	64,920	62,089	65,075	732,031
02:04:05	21,240	21,851	22,461	64,920	62,051	65,075	731,738
02:04:06	21,240	21,851	22,461	64,920	62,051	65,075	732,031
02:04:07	21,240	21,851	22,461	64,959	62,051	65,075	732,031
02:04:08	21,240	21,851	22,461	64,920	62,051	65,075	732,324
02:04:09	21,118	21,851	22,461	64,920	62,089	65,075	732,031
02:04:10	21,118	21,851	22,339	64,959	62,051	65,114	732,031
02:04:11	21,118	21,851	22,339	64,881	62,012	65,036	732,324
02:04:12	21,240	21,851	22,339	64,881	62,012	65,036	731,738
02:04:13	21,240	21,851	22,461	64,881	62,012	65,075	732,031
02:04:14	21,118	21,851	22,461	64,842	62,012	65,036	732,031
02:04:15	21,240	21,851	22,339	64,881	62,012	64,997	732,324
02:04:16	21,240	21,729	22,339	64,881	62,012	65,036	732,031
02:04:17	21,118	21,851	22,339	64,842	61,973	65,036	732,031
02:04:18	21,240	21,851	22,339	64,881	62,012	65,036	732,031
02:04:19	21,118	21,851	22,461	64,881	62,012	65,036	732,324
02:04:20	21,240	21,851	22,461	64,881	62,051	65,075	732,031
Media (\bar{X})	21,191	21,845	22,400	64,901	62,035	65,057	732,060
Desviación Estándar (σ)	0,061	0,027	0,063	0,032	0,029	0,027	0,162
Coeficiente de Variación ($\sigma/\bar{X}\%$)	0,289%	0,125%	0,279%	0,050%	0,047%	0,041%	0,022%

Realizado por: Darquea, José; 2020.

El objetivo de esta prueba es comprobar que los distintos sensores empleados posean una repetitividad de medición que garantice la estabilidad del sistema. El análisis de los datos se visualiza en la **Tabla 1-3**, cuyos coeficientes de variación para los sensores de temperatura LM35 son menores al 0,29%; para los sensores de humedad relativa HIH-4000 son menores al 0,05% y para el sensor de presión PTB110 es menor al 0,02%.

Se concluye que los sensores se desempeñan adecuadamente pues presentan un coeficiente de repetitividad menor al 15%. Esto demuestra, según Llamosa L., *“que el sistema es apropiado para la aplicación que fue diseñado”* lo cual garantiza mediciones fiables con precisión y repetitividad (Estudio de repetibilidad y reproducibilidad utilizando el método de promedios y rangos para el aseguramiento de la calidad de los resultados de calibración de acuerdo con la norma técnica NTCISO/IEC 17025, 2007).

3.3 Validación del diseño del suministro eléctrico.

Las pruebas de suministro eléctrico tienen por objetivo la comprobación del correcto funcionamiento de la alimentación eléctrica de la estación meteorológica automática de tal manera que la misma no pierda energización en ningún instante del día ni de la noche.

Diferentes pruebas eléctricas se realizan en la presente investigación iniciando por la comprobación de la integridad de panel solar, batería y controlador de carga, además de la verificación de las adecuadas conexiones entre estos tres elementos.

Al conectar en serie el multímetro entre el controlador de carga y la tarjeta MyRIO, se determinó el consumo de corriente que la estación demanda al sistema fotovoltaico, el cual es de 230mA. Se conoce que el voltaje de funcionamiento es de 12V, la potencia del panel solar es de 15W y la capacidad de la batería es de 7.2Ah. Estos datos permiten verificar si el diseño permite que la estación funcione autónomamente por 24h.

Un sub-dimensionamiento del panel solar en cuanto a potencia provocaría que la batería no se cargue lo suficiente durante el día para aguantar la carga durante la noche, y en el peor de los casos el panel no podría aguantar ni la carga por sí solo. Un sub-dimensionamiento de la batería ocasionaría que no pueda almacenar la suficiente energía para aguantar cuando no haya suministro del panel. Un sub-dimensionamiento del controlador-regulador resultaría en la quema del mismo.

De las ecuaciones en el apartado 2.11.1 Diseño del sistema de alimentación fotovoltaico., obtenemos los siguientes resultados aplicando la ecuación (6-2) para verificar si usar solo un panel garantiza el funcionamiento de la estación.

$$N_T = \frac{E_T}{P_p G_d P_G}$$

$$N_T = \frac{34,86 \left[\frac{Wh}{m^2} \right]}{15 \left[\frac{Wh}{m^2} \right] \cdot 9,64 \cdot 0,9}$$

$$N_T = 0,2986 \equiv 1$$

Y para determinar si el tiempo de autonomía de la estación gracias a la capacidad de la batería se utiliza la ecuación (7-2):

$$C_n = \frac{E_T N}{P_d}$$

$$7,2 = 34,86 \cdot \frac{N}{0,7}$$

$$N[\text{días}] = 0,1445 \left[\frac{A}{W} \right]$$

$$N[\text{días}] = 0,1445 \left[\frac{A}{W} \right] \cdot 12[V]$$

$$N[\text{días}] = 1,7349 \text{ días} \equiv 41,64h$$

A través de las fórmulas determinamos que un panel solar de 15W abastece de manera eficiente la energía para estación meteorológica y gracias a la capacidad de la batería, cuenta con una autonomía de 41.64 horas en caso de que no se cuente con energía solar suficiente.

El diseño se comprueba gracias al registro constante de datos ininterrumpidos desde que se instaló la EMA en las inmediaciones del INAMHI en la ESPOCH como lo muestra el ANEXO D.

De acuerdo a lo observado se concluye que el desempeño del sistema eléctrico es muy satisfactorio de tal manera que la estación posee un adecuado suministro eléctrico continuo sin interrupciones ni en el día ni en la noche, cumpliendo el requerimiento de ser autónoma durante más de 24 horas ininterrumpidas.

3.4 Pruebas de *software*

Las pruebas de software tienen por objetivo detectar anomalías en el código desarrollado o en el software empleado en la transmisión de datos.

El software empleado en la presente investigación es *LabVIEW* licenciado para la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, *FileZilla* y *Webdav*, respecto a los cuales se han realizado pruebas individuales desde el inicio del trabajo.

En la Figura 1-3, se muestra la interfaz mediante la cual es posible evidenciar los valores obtenidos graficados en un *Waveform Chart*, lo cual es de gran utilidad para la depuración de ruidos e interferencias, problemas de escalamiento, y para brindar ideas y opciones de embellecimiento estético para la interfaz.

La interfaz mencionada en *LabVIEW*, cuya información se encuentra en inglés por motivos estéticos, permite realizar la actualización del RTC, en caso de ser necesario, a través del botón “Set RTC” y separar si se desea o no la actualización del reloj del sistema de la MyRIO.

Adicionalmente se puede controlar el tiempo de muestreo, en tiempo real, de las variables observadas para su análisis respectivo.

Se añadió un led virtual para comprobar el funcionamiento del botón “Get Register”, el mismo que ordena la descarga del archivo interno hacia el servidor FTP.

Como conclusión se tiene que el código desarrollado se desenvuelve exactamente de la manera prevista en los alcances del presente estudio a la par que el software empleado no registra inconveniente alguno de operación.

3.5 Pruebas de comunicación y almacenamiento de datos

Las presentes pruebas son realizadas con el objeto de verificar la integridad de los datos transmitidos, la concordancia y fidelidad de los mismos, transmitidos via la red Wi-Fi, característica de la MyRIO.

En primer lugar, se requiere de la correcta generación del archivo .csv desde *LabVIEW* con los datos registrados desde los sensores en conjunto con el dato de hora y fecha reportado por el reloj interno y mantenido por el RTC externo, esta información se organiza en columnas como la que se muestra en la Figura 2-3. Para ello se generó un VI que lee el archivo almacenado en memoria interna y lo visualiza a través de un indicador en el panel frontal.

The image shows a screenshot of a data table with the following columns: Fecha, Hora, Presión, Temperatura °C, and Humedad. The data is recorded for the date 02/27/20 from 09:10:25 AM to 12:08:43 PM. The pressure values fluctuate between 731.7383 and 732.6172. The temperature increases from 17.5781 to 33.4880, and the humidity fluctuates between 40.7641 and 67.6340.

Fecha	Hora	Presión	Temperatura °C	Humedad
02/27/20	09:10:25 AM	732.3242	18.7581	67.3238
02/27/20	09:20:25 AM	732.3242	20.7520	62.7615
02/27/20	09:30:25 AM	732.6172	17.5781	67.6340
02/27/20	09:40:25 AM	732.6172	17.6188	67.7116
02/27/20	09:50:25 AM	732.6172	19.4092	63.4465
02/27/20	10:00:25 AM	732.3242	19.2057	72.6229
02/27/20	10:10:25 AM	732.0312	19.6940	59.6209
02/27/20	10:20:25 AM	732.6172	19.4092	62.4642
02/27/20	10:30:25 AM	732.0312	18.9616	61.5595
02/27/20	10:35:58 AM	732.3242	21.9320	49.9534
02/27/20	10:36:59 AM	732.3242	23.2340	48.7772
02/27/20	10:38:43 AM	732.0312	19.8975	52.2927
02/27/20	10:48:43 AM	732.0312	22.6237	55.6789
02/27/20	10:58:43 AM	731.7383	19.5312	57.6305
02/27/20	11:08:43 AM	732.3242	19.5312	60.6290
02/27/20	11:18:43 AM	731.7383	19.4499	62.4255
02/27/20	11:28:43 AM	731.7383	24.7803	55.0456
02/27/20	11:38:43 AM	731.7383	28.4424	47.3038
02/27/20	11:48:43 AM	731.7383	31.2500	51.9696
02/27/20	11:58:43 AM	731.7383	32.5521	40.7641
02/27/20	12:08:43 PM	731.7383	33.4880	41.0355

Figura 2-3. Resultado de la lectura del archivo interno de almacenamiento de datos.

Realizado por: Darquea, José; 2020

Una vez superada esta etapa se procede al guardado de archivos en servidor remoto haciendo uso de la capacidad Wi-Fi de la tarjeta. Se accede a la “red local” generada por la MyRIO y se presiona el botón virtual para ordenar a la tarjeta que acceda al archivo interno, copie la información, acceda al servidor FTP y cree un archivo nuevo con la información recolectada, con la fecha y hora de descarga como nombre del archivo.

De las pruebas realizadas se determinó que es necesaria la desactivación de firewalls o restricciones en la red de comunicación, o en su defecto el adiconamiento de excepciones para que myRIO pueda trabajar con normalidad.

3.5.1 Prueba de almacenamiento de datos

En lo que respecta a la comunicación se debe verificar que no exista pérdida de información cuando se realiza el almacenamiento en memoria externa del archivo generado, lo cual se puede comprobar mediante la Figura 3-3 y la Figura 4-3 en las que se evidencia que el archivo de datos tiene el mismo tamaño en bytes (54 853 bytes) tanto cuando se encuentra en memoria interna como cuando se encuentra en almacenamiento externo respectivamente.

Como conclusión se establece que los datos transmitidos mantienen su integridad, el espacio que consumen los archivos generados se mantiene y no existe pérdida de información, por lo que el sistema de comunicación y almacenamiento de datos funcionan correctamente de acuerdo a lo evidenciado en párrafos anteriores.

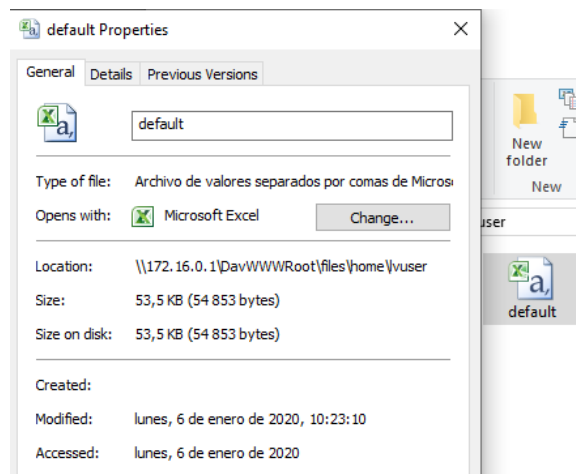


Figura 3-3. Propiedades de archivo de datos en memoria interna

Realizado por: Darquea, José; 2020

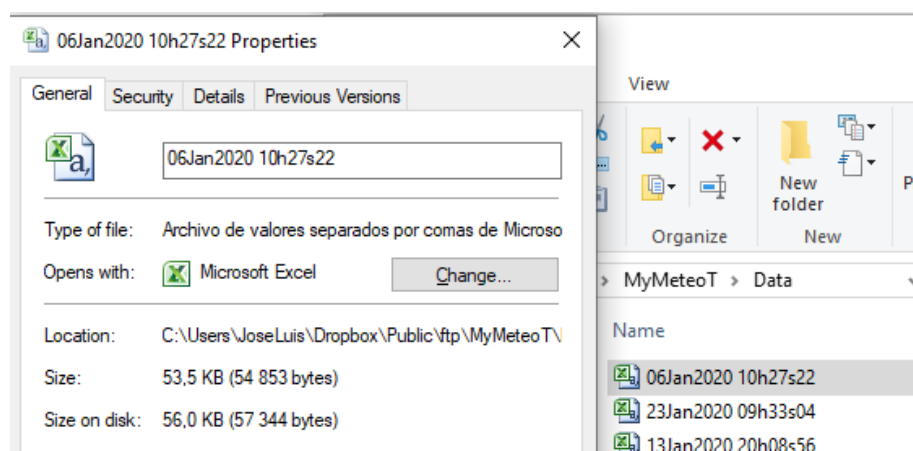


Figura 4-3. Propiedades de archivo de datos en almacenamiento externo

Realizado por: Darquea, José; 2020

3.6 Prueba de reloj en tiempo real

Esta prueba sirve para cerciorarse que la hora arrojada por el sistema mediante el Reloj en Tiempo Real (DS1307) se mantiene actualizada con respecto al uso horario correspondiente.

El método que se utilizó es la comparación entre el reloj interno, el reloj externo y el reloj del ordenador, se observa el reloj interno se mantiene corriendo siempre y cuando la tarjeta cuente con energía. Cuando se desconecta la estación de la fuente, el RTC es el respaldo del reloj.

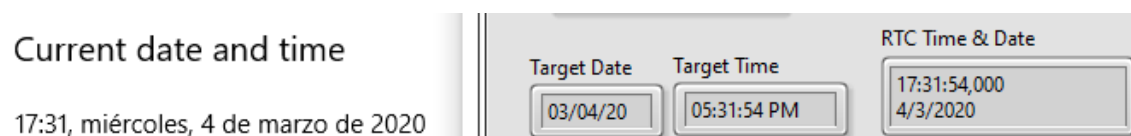


Figura 5-3. Comparación Reloj interno, reloj del ordenador y reloj externo.

Realizado por: Darquea, José; 2020

En este respecto, se concluye con base en la Figura 5-3 que la hora de la estación meteorológica coincide exactamente con la hora del computador, habiendo con esto cumplido cabalmente su cometido. Sin embargo se recomienda realizar las correcciones apropiadas en el caso de que se desconecte el sistema de alimentación solar del módulo de procesamiento.

3.7 Pruebas de conexión mediante Wi-Fi

El objetivo es comprobar el alcance de la red Wi-Fi emitida por la EMA para su conexión a distancia. Para ello se utilizó un ordenador portátil para realizar la conexión y diversas pruebas alrededor de la estación meteorológica actualmente ubicada junto a la Estación ESPOCH – INAMHI como se indica en la Figura 6-3 en el punto denotado con “0”.

Se recurre al uso de la aplicación gratuita desarrollada para Android, “*Net Analyzer*”, la cual permite obtener un reporte de las redes Wi-Fi con cobertura en la zona con sus respectivas potencia medida en dBm (decibelios milivatios) y los canales respectivos tal como se muestra en Figura 7-3.

Es posible distinguir el nombre “Meteo Tesis” que corresponde a la señal Wi-Fi del presente trabajo, notándose a la par que es una de las señales con mayor potencia de las que se tienen disponibles, para una prueba efectuada a una distancia de 25 metros de la estación. Sin embargo en pruebas exhaustivas se ha podido constatar el cabal funcionamiento de conexión a una distancia de 50 metros en línea de vista.



Figura 6-3. Imagen satelital de la ubicación de la estación meteorológica

Fuente: Google Earth



Figura 7-3. Potencia para cada señal Wi-Fi a una distancia de 25m.

Realizado por: Darquea, José; 2020

3.8 Pruebas y análisis comparativo con referencia a la Estación Meteorológica Automática M1036 Riobamba Politécnica

El objetivo de las presentes pruebas es realizar una pertinente comparativa entre los datos meteorológicos adquiridos mediante la estación meteorológica del actual estudio y los datos obtenidos por la estación meteorológica automática M1036 bajo jurisdicción del INAMHI ubicada en instalaciones de la ESPOCH (Figura 8-3).



Figura 8-3. Estación meteorológica M1036 (izq) y prototipo.

Realizado por: Darquea, José; 2020

Mediante la URL <http://186.42.174.236/InamhiEmas/#> oficial del INAMHI se puede seleccionar entre una variedad de EMA y estaciones hidrológicas para visualizar los datos obtenidos de manera horaria, en un rango de 24 horas. Los datos que corresponden a la estación ubicada en Riobamba corresponden a la EMA M1036, los mismos que deben ser descargados diariamente para su comparación.

3.8.1 Análisis comparativo de datos.

En esta sección se compara los datos obtenidos de este proyecto con respecto a los datos emitidos por la estación automática INAMHI ubicada en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo para las variables Presión Atmosférica, Temperatura y Humedad Relativa.

3.8.1.1 Pruebas de comparación gráfica de presión atmosférica.

El **Gráfico 1-3** muestra la comparación entre las mediciones realizadas aleatoriamente de 10 días y empatadas temporalmente con la EMA del INAMHI.

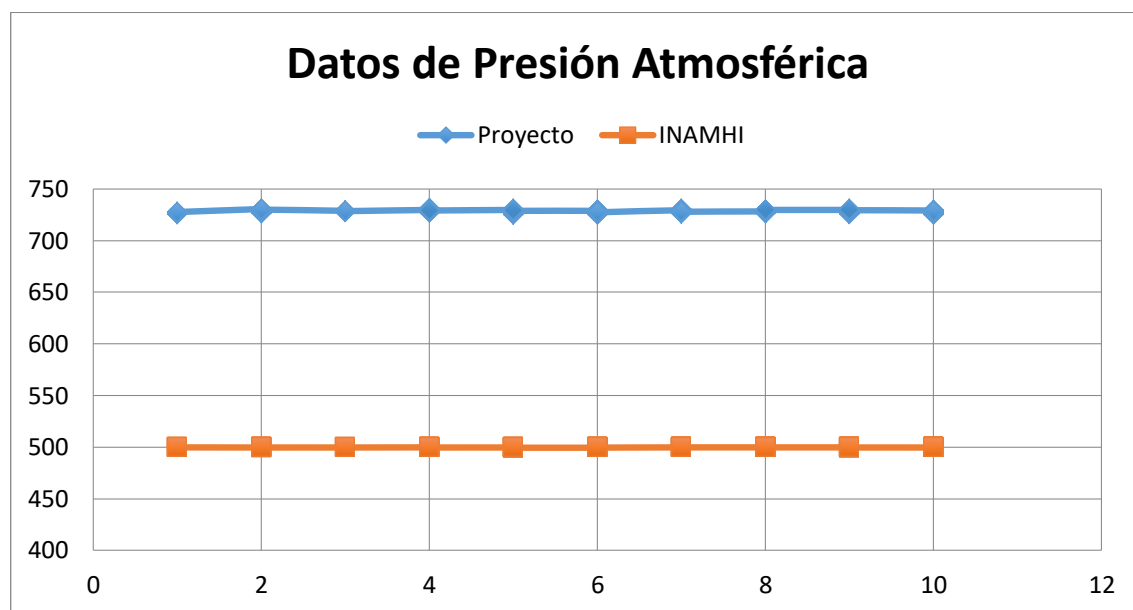


Gráfico 1-3. Comportamiento de medición de la variable presión atmosférica de la estación meteorológica INAMHI y Proyecto.

Realizado por: Darquea, José. 2020

Para fines comparativos, por esta ocasión, se toma los datos de 3 días de la estación meteorológica convencional del INAMHI ubicada en la ESPOCH – Riobamba y su comportamiento se observa en el Gráfico 2-3. Y por medio de un gráfico de barras se compara las mediciones de las tres estaciones meteorológicas.

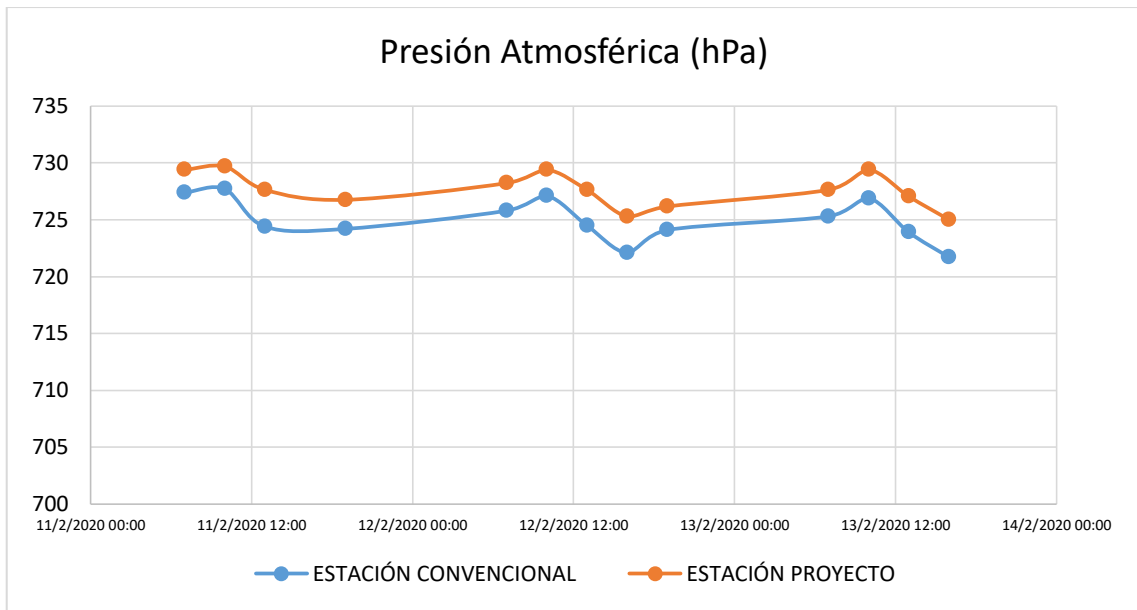


Gráfico 2-3. Comportamiento de medición de la variable presión atmosférica de la estación meteorológica convencional INAMHI y Proyecto.
Realizado por: Darquea, Jose. 2020.

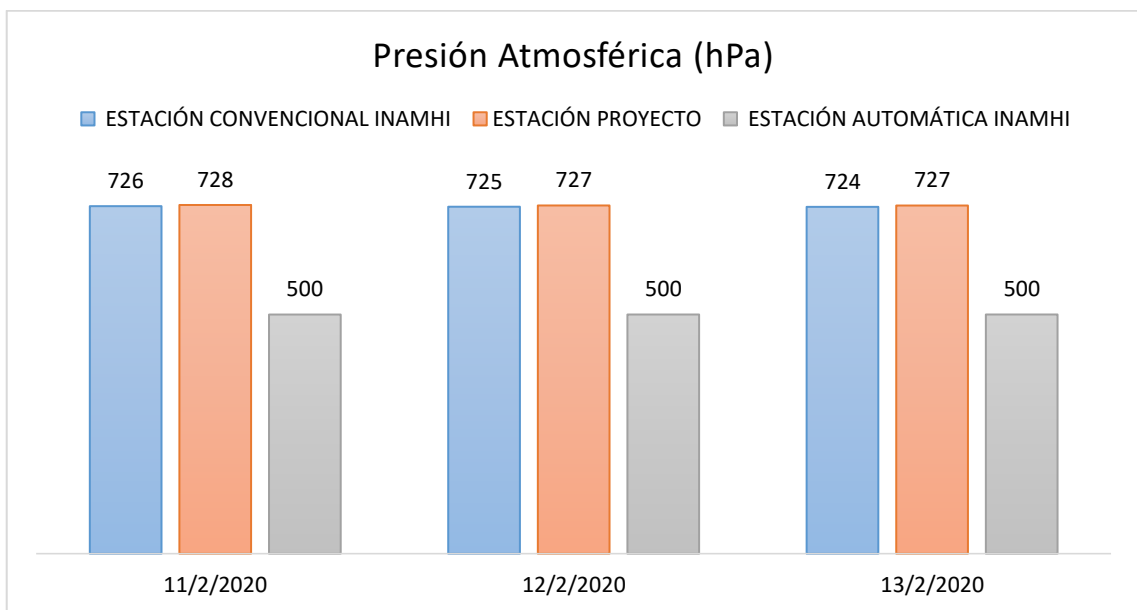


Gráfico 3-3. Comportamiento de medición de la variable presión atmosférica de la estación meteorológica convencional y automática INAMHI y Proyecto.
Realizado por: Darquea, Jose. 2020.

INTERPRETACIÓN: En el **Gráfico 1-3**, se observa que las mediciones no se relacionan entre sí y tienen una diferencia mayor a 200hPa, por lo que realizar un análisis estadístico no sería factible debido a la gran variación entre los datos. Para determinar cuál estación está emitiendo datos erróneos se realizó una comparación de datos con la estación convencional INAMHI

obteniéndose el **Gráfico 2-3**, donde la diferencia entre estaciones menor a 5hPa. Como ejemplo tomamos el **Gráfico 3-3** donde comparamos tres días de medición entre las tres estaciones.

La Estación INAMHI M1036 en todo momento refleja una presión que no corresponde a una presión aceptable para una altura de 2850 m sobre el nivel del mar, indicándose en su lugar un valor de aproximadamente 500hPa, lo cual es inaceptable debido a que esa presión tiene lugar para alturas de alrededor de 5500 msnm. Concluyéndose que existe un fallo en la estación M1036 Riobamba Politécnica INAMHI para el dato de presión atmosférica.

3.8.1.2 Temperatura y Humedad Relativa

Se recolectaron datos del dispositivo tecnológico, por un periodo de 10 días en un mes, con respecto a temperatura del aire frente a los datos de la estación M1036 descargados de la web. De la información recabada se toman 20 datos de muestra para realizar el análisis de error absoluto utilizando la ecuación (1-3) y (2-3), los cuales se detallan en la Tabla 2-3.

Tabla 2-3. Mediciones de temperatura descargadas de las EMA

Muestreo aleatorio	Dato	Valor aproximado (Proyecto) °C	Valor verdadero (INAMHI) °C	Error Absoluto (°C)	%Error
12/2/2020 09:00	93	15,14	14,10	1,04	7,35
27/1/2020 17:00	9	22,38	23,10	0,72	3,12
12/2/2020 20:00	100	14,32	14,70	0,38	2,57
12/2/2020 17:00	97	22,18	20,90	1,28	6,11
11/2/2020 13:00	76	21,69	22,10	0,41	1,87
6/2/2020 17:00	41	20,79	20,70	0,09	0,45
11/2/2020 23:00	85	11,96	11,90	0,06	0,53
6/2/2020 01:00	36	7,93	8,70	0,77	8,80
12/2/2020 22:00	102	11,43	11,00	0,43	3,94
5/2/2020 19:00	30	16,72	16,60	0,12	0,74
2/2/2020 19:00	23	15,71	16,10	0,39	2,44
2/2/2020 17:00	10	20,30	20,30	0,00	0,00
10/2/2020 07:00	60	10,38	9,30	1,08	11,57
2/2/2020 17:00	21	19,21	19,90	0,69	3,49
10/2/2020 16:00	62	18,84	19,00	0,16	0,84
12/2/2020 02:00	88	10,90	10,80	0,10	0,97
10/2/2020 03:00	56	11,68	11,30	0,38	3,35
12/2/2020 23:00	103	10,66	11,50	0,84	7,30
5/2/2020 18:00	29	19,57	18,70	0,87	4,66
9/2/2020 01:00	46	13,71	13,10	0,61	4,68
PROMEDIO				0,52	3,7
	MIN			0,00	
	MAX			1,28	

Realizado por: Darquea, Jose. 2020.

Se realizó el mismo estudio para la humedad relativa en la Tabla 3-2.

Tabla 3-3. Mediciones de humedad descargadas de las EMA.

Muestreo Aleatorio	Datos	Valor aproximado (Proyecto) %	Valor verdadero (INAMHI) %	Error Absoluto %	%Error
27/1/20 16:00	4	25,99	24,00	1,99	8,30
12/2/20 17:00	62	41,86	43,00	1,14	2,65
11/2/20 18:00	51	38,31	35,00	3,31	9,45
11/2/20 11:00	47	31,26	33,00	1,74	5,26
10/2/20 03:00	34	93,44	92,00	1,44	1,57
5/2/20 19:00	16	38,54	37,00	1,54	4,16
27/1/20 14:00	2	27,30	26,00	1,30	4,99
11/2/20 16:00	50	31,26	30,00	1,26	4,22
11/2/20 02:00	43	93,60	92,00	1,60	1,74
1/2/20 15:00	6	60,47	61,00	0,53	0,86
10/2/20 08:00	36	78,14	79,00	0,86	1,09
2/2/20 14:00	9	46,80	48,00	1,20	2,50
10/2/20 14:00	37	47,74	49,00	1,26	2,56
6/2/20 13:00	20	30,15	31,00	0,85	2,73
5/2/20 20:00	17	38,72	38,00	0,72	1,90
10/2/20 15:00	38	47,14	48,00	0,86	1,80
1/2/20 16:00	7	69,93	70,00	0,07	0,09
6/2/20 16:00	23	37,88	35,00	2,88	8,23
23/1/20 15:00	1	45,83	46,00	0,17	0,37
10/2/20 22:00	41	93,20	91,00	2,20	2,42
PROMEDIO				1,35	3,34
	MIN			0,07	
	MAX			3,31	

Realizado por: Darquea, Jose. 2020.

$$E = \text{Valor verdadero} - \text{Valor aproximado} \quad (1-3)$$

$$\%Error = \left(\frac{\text{Valor verdadero} - \text{Valor aproximado}}{\text{Valor verdadero}} \right) * 100 \quad (2-3)$$

Dónde:

Valor verdadero = Valores de la estación INAMHI

Valor aproximado = Valores de la estación Proyecto (diseño)

Adicionalmente, se utilizó el *software* de SPSS para analizar los datos y compararlos entre sí para determinar la correlación entre el dispositivo diseñado y la EMA M1036. Estos datos se presentan en la Tabla 4-3. La diferencia entre sus coeficientes de variación para la temperatura es de 0,38% y para la humedad relativa de 0,27%.

Tabla 4-3. Estadístico descriptivo de las EMA, generado por SPSS.

		Media	15,690	Media	50,400
Temperatura	INAMHI	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	13,529	39,822
			Límite superior	17,851	60,978
		Media recortada al 5%	15,667	49,556	
		Mediana	15,400	44,500	
		Varianza	21,328	510,884	
		Desviación estándar	4,618	22,603	
		Mínimo	8,700	24,000	
		Máximo	23,100	92,000	
		Rango	14,400	68,000	
		Rango intercuartil	8,900	34,300	
		Asimetría	0,069	0,896	
		Curtosis	-1,461	-0,507	
	Humedad	PROYECTO	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	13,630
Límite superior				17,921	61,495
Media recortada al 5%			15,844	49,889	
		Mediana	15,422	43,847	
		Varianza	21,008	514,471	
		Desviación estándar	4,583	22,682	
		Mínimo	7,900	26,000	
		Máximo	22,400	93,600	
		Rango	14,400	67,600	
		Rango intercuartil	8,600	34,700	
		Asimetría	-0,004	0,990	
		Curtosis	-1,405	-0,321	

Realizado por: Darquea, Jose. 2020.

Para continuar la validación de los datos obtenidos se hizo el análisis de medias de los 10 días para verificar si existe una diferencia entre ambas estaciones. La recolección de datos del dispositivo tecnológico con respecto a temperatura del aire frente a los datos de la estación M1036 descargados de la web, se visualizan en el Gráfico 4-3.

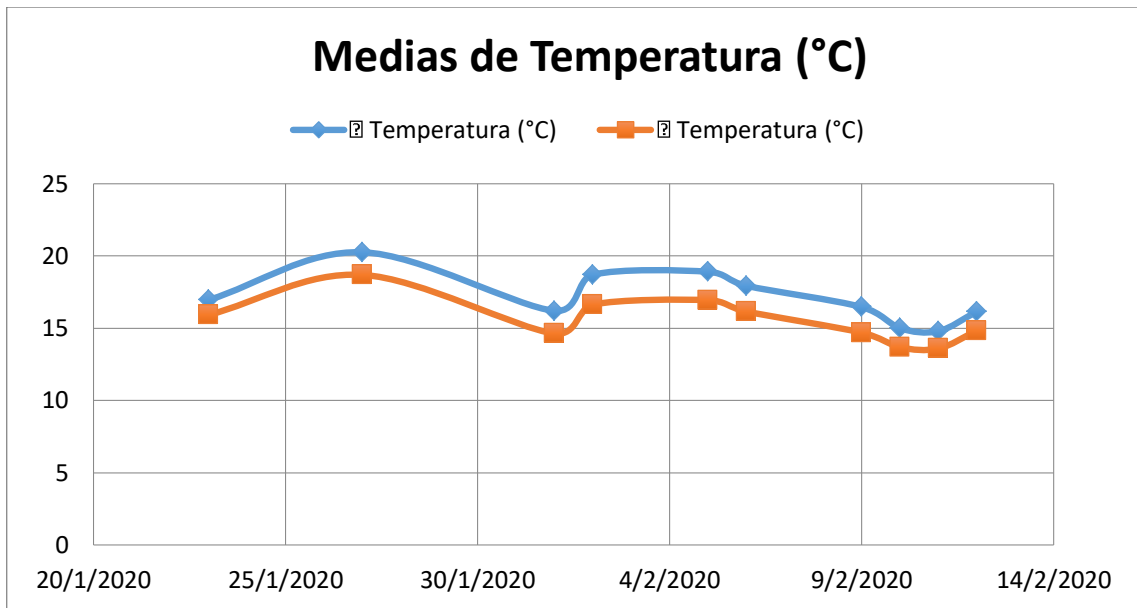


Gráfico 4-3. Comportamiento de las medias de la variable temperatura entre la estación meteorológica INAMHI y Proyecto
Realizado por: Darquea, Jose. 2020.

La recolección de datos del dispositivo tecnológico con respecto a temperatura del aire frente a los datos de la estación M1036 descargados de la web, se visualizan en el **Gráfico 5-3**.

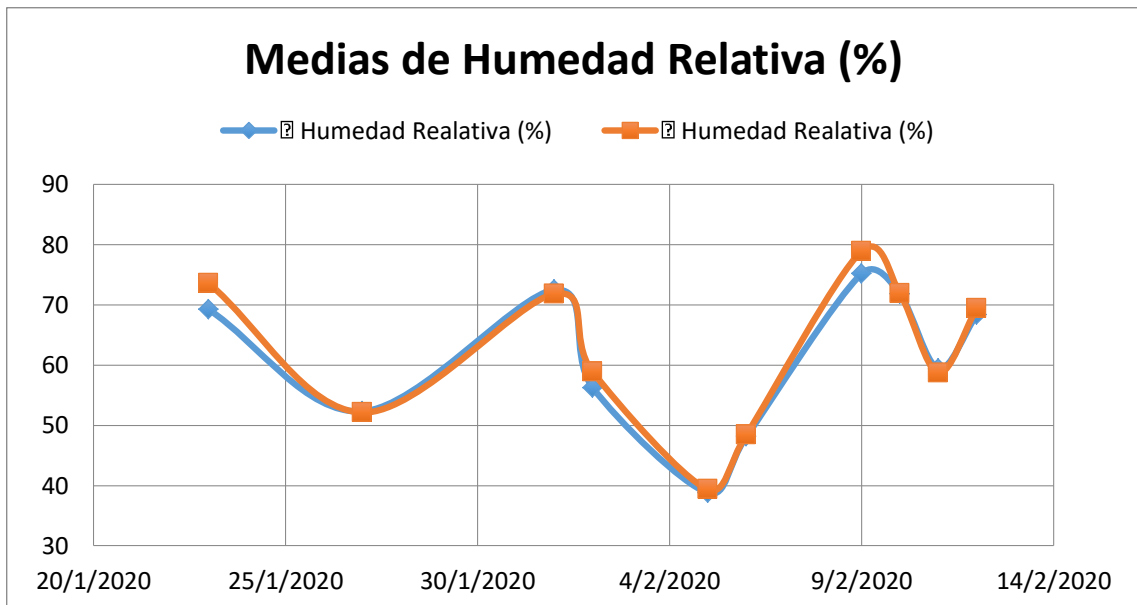


Gráfico 5-3. Comportamiento de las medias de la variable humedad relativa entre la estación meteorológica INAMHI y Proyecto.
Realizado por: Darquea, Jose. 2020.

▪ **Análisis Estadístico SPSS**

Se realiza el análisis estadístico de la temperatura y humedad relativa debido que existe una relación de proporcionalidad inversa entre ambos parámetros, además de realizar la

comparación entre la estación autónoma diseñada y la estación automática INAMHI. Para el análisis se plantea los siguientes pasos:

PASO 1. Planteamiento de la hipótesis: Analizar si existe diferencia entre las medias de temperatura y humedad relativa entre la estación automática INAMHI y la estación diseñada en este proyecto.

H₀: No existe una diferencia de las medias de temperatura y humedad relativa entre la estación diseñada (proyecto) y la estación INAMHI

H₁: Existe una diferencia de las medias de temperatura y humedad relativa entre la estación diseñada (proyecto) y la estación INAMHI

- Variable Respuesta: Temperatura, Humedad Relativa
- Factor: Estaciones Proyecto, INAMHI
- Nivel de Significancia: $\alpha = 0,05$ o 5% (error que puede ocurrir en la prueba estadística).
- Elección de la Prueba Estadística: ESTUDIO TRANSVERSAL porque se valora en el mismo momento dos grupos (estación proyecto, estación INAMHI) y su variable aleatoria (temperatura, humedad relativa) que es numérica.

PASO 2. Estadístico de Prueba: se deben cumplir los supuestos. Para normalidad utilizamos la prueba *Shapiro-Wilk* ($m < 30$) y para varianza la prueba de *Levene*

Supuestos de Hipótesis:

a) **NORMALIDAD**

H₀= los datos son normales o provienen de una distribución normal

H₁= los datos no son normales o no provienen de una distribución normal

Tabla 5-3. Pruebas de normalidad

	Estación	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Temperatura	INAMHI	0,183	10	0,200*	0,944	10	0,594
	EMAI	0,147	10	0,200*	0,954	10	0,713
Humedad	INAMHI	0,210	10	0,200*	0,935	10	0,496
	EMAI	0,222	10	0,175	0,921	10	0,369

Realizado por: Darquea, Jose. 2020.

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Temperatura (°C)

p-valor (ESTACIÓN INAMHI)= **0,594** > $\alpha= 0,05$

p-valor (ESTACIÓN EMAI) = **0,713** > $\alpha= 0,05$

* p-valor es \geq a 0,05; no se rechaza la hipótesis nula

* p-valor es < a 0,05; se rechaza la hipótesis nula

Humedad Relativa (%)

p-valor (ESTACIÓN INAMHI)= **0,496** > $\alpha= 0,05$

p-valor (ESTACIÓN EMAI) = **0,369** > $\alpha= 0,05$

* p-valor es \geq a 0,05; no se rechaza la hipótesis nula

* p-valor es < a 0,05; se rechaza la hipótesis nula

CONCLUSIÓN: Las variables temperatura y humedad relativa en ambas estaciones meteorológicas se comportan normalmente.

b) IGUALDAD DE VARIANZA

H_0 = Las varianzas son iguales o constantes

H_1 = Existe diferencia significativa entre las varianzas

Tabla 6-3. Estadísticas de grupo

	Estación	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
Temperatura	EMAI	10	17,1390	1,7726	0,5605
	INAMHI	10	15,5780	1,5931	0,5038
Humedad	EMAI	10	61,1790	12,1520	3,8428
	INAMHI	10	62,2980	12,8329	4,0581

Realizado por: Darquea, Jose. 2020.

Tabla 7-3. Prueba de muestras independientes

	Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias							
	F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia		
								Inferior	Superior	
Temperatura	Se asumen varianzas iguales	0,1680	0,6870	2,0710	18	0,0530	1,5609	0,7537	-0,0225	3,1442
	No se asumen varianzas iguales			2,0710	18	0,0530	1,5609	0,7537	-0,0238	3,1455
Humedad	Se asumen varianzas iguales	0,0540	0,8190	-0,2000	18	0,8440	-1,1192	5,5889	-12,8610	10,6226
	No se asumen varianzas iguales			-0,2000	18	0,8440	-1,1192	5,5889	-12,8635	10,6251

Realizado por: Darquea, Jose. 2020.

Temperatura (°C)

p-valor = **0,687** > $\alpha = 0,05$

* p-valor es \geq a 0,05; no se rechaza la hipótesis nula

* p-valor es < a 0,05; se rechaza la hipótesis nula

Humedad Relativa (%)

p-valor = **0,819** > $\alpha = 0,05$

* p-valor es \geq a 0,05; no se rechaza la hipótesis nula

* p-valor es < a 0,05; se rechaza la hipótesis nula

CONCLUSIÓN: Las varianzas de las medias de temperatura y humedad son iguales en ambas estaciones.

PASO 3. Prueba T Student: determina la distribución de probabilidad que surge del problema de estimar la media de una población normalmente distribuida cuando el tamaño de la muestra es pequeño. Examina las diferencias entre dos muestras independientes y pequeñas que tengan distribución normal y homogeneidad en sus varianzas. (Sánchez, 2015)

Decisión estadística:

p-valor TEMPERATURA (°C) = **0,053** > $\alpha = 0,05$

p-valor HUMEDAD RELATIVA = **0,844** > $\alpha = 0,05$

* p-valor es \geq a 0,05; no se rechaza la hipótesis nula

* p-valor es $<$ a 0,05; se rechaza la hipótesis nula

CONCLUSIÓN: No se rechaza la hipótesis nula, por lo que se concluye que no existe una diferencia de las medias de temperatura y humedad relativa entre la estación diseñada (proyecto) y la estación INAMHI.

INTERPRETACIÓN: Con los Gráfico 4-2 y Gráfico 5-2 comprobamos el comportamiento de las medias de los datos en ambas estaciones, se observa que existe una variación aproximada de $\pm 2^\circ\text{C}$, mientras que el comportamiento de las medias de humedad no varía en un porcentaje mayor a $\pm 4\%$ aproximadamente. Del análisis se determina que el sistema implementado no incorpora un error superior a $\pm 1,28^\circ\text{C}$ y de humedad no supera el $\pm 3,31\%$ HR lo que satisface las características técnicas de cada sensor.

Una vez realizada la evaluación de las gráficas de medición y el cálculo del error, se hizo el análisis estadístico mediante el programa SPSS para determinar la probabilidad que exista una diferencia entre las medias de la estación diseñada y la estación INAMHI, aplicando la prueba t de Student para muestras independientes; aceptamos la hipótesis nula que se planteó y concluimos que no existe una diferencia de las medias de temperatura y humedad relativa entre la estación diseñada (proyecto) y la estación INAMHI.

Se concluye, con base en lo expuesto, que las estaciones meteorológicas guardan estrecha relación entre los datos obtenidos por cada una, de acuerdo a los errores porcentuales presentados en párrafos anteriores existentes entre los datos obtenidos por cada una, con excepción del valor de presión atmosférica para el caso de la estación meteorológica automática del INAMHI respecto de lo cual se ha podido comprobar un error relevante en la mencionada estación, gracias a la implementación del presente estudio y sus acertadas mediciones.

3.9 Funcionamiento general de la EMA

Después de las pruebas realizadas en todos los módulos de la estación meteorológica autónoma e inalámbrica y probada en los predios de la ESPOCH se concluye que las programaciones realizadas a cada uno de los módulos; mantienen concordancia con los requerimientos establecidos en la investigación, existe una adecuada comunicación entre la parte hardware y las herramientas software desarrolladas. Cuenta con una respuesta óptima ante los diferentes escenarios climáticos que se presentaron durante la puesta en marcha. En la se muestra funcionando los módulos que integran el dispositivo tecnológico

3.10 Costo del Proyecto

En este apartado se presenta la parte económica del proyecto. Se detallada los rubros de cada instrumento, equipo y materiales requeridos para la implementación, configuración y puesta en marcha.

Tabla 8-3. Costos incluido IVA de elementos empleados.

Ítem	Cantidad	Costo unitario(USD)	Costo total(USD)
NI MyRIO 1900	1	567,00	567,00
Sensor de temperatura LM35	3	2,50	7,50
Sensor de humedad HIH-4000	3	30,00	90,00
Sensor de presión atmosférica	1	200,00	200,00
Reloj de tiempo real DS1307	1	15,00	15,00
Panel solar 15w	1	36,00	36,00
Regulador de carga	1	18,00	18,00
Batería	1	28,00	28,00
Estructura	1	64,00	64,00
Gabinete para equipos	1	65,65	65,65
Elementos electrónicos	1	13,00	13,00
Total			1104,15

Realizado por: Darquea, Jose. 2020.

Se realiza una comparación de costo con una estación de similares características, que midan las mismas variables, se encontró una de tecnología (Vaisala) denominada PTU301 con un costo de USD 3606. Al comparar los precios se concluye que la estación autónoma diseñada tiene un costo del 30,62% de una estación meteorológica comercial.

CONCLUSIONES

- Se implementó una estación meteorológica autónoma e inalámbrica basada en hardware embebido que soporta entornos gráficos de programación basada en NI MyRIO1900, concebida en tres módulos de funcionamiento para realizar mediciones de temperatura, humedad relativa y presión atmosférica con un coeficiente de variación menor al 0,5%.
- Mediante revisión bibliográfica recopilada se determinó que se llama estaciones meteorológicas a los instrumentos de medición que observan al menos 2 variables meteorológicas, desde las domésticas hasta las profesionales. También estas se subdividen por el área de estudio al cual el investigador se quiere dirigir, es decir dependen de su aplicabilidad. Y tras el estudio de la relación existente entre las variables, se decidió que las variables a medirse en la estación diseñada, fueran la temperatura, humedad relativa y presión atmosférica.
- La tarjeta que cumple con el objetivo de esta investigación es la tarjeta MyRIO por sus características de programación en bajo nivel, la capacidad de procesamiento paralelo, entradas digital y analógica, y la velocidad de procesamiento.
- Los sensores fueron seleccionados en la relación de las variables climáticas y de acuerdo a su rango de medición, precisión, y portabilidad.
- Del análisis de costos realizados entre la estación meteorológica diseñada y otra de similares características de tecnología Vaisala muestra un costo de \$1604, lo que representa 30,62% del valor de una comercial.
- Del análisis comparativo de datos entre la estación diseñada y la M1036, se obtuvo que el error absoluto de los datos medidos por el sensor de temperatura se mantiene en $\pm 1,4^{\circ}\text{C}$ y para los sensores de humedad relativa del $\pm 3,5\%$ RH, cumpliéndose con el rango de error aceptable establecidos por los *datasheet* de los sensores. El sistema no agrega error a la lectura de los sensores.
- El proyecto ha permitido corroborar los datos presentados por la Estación Meteorológica de la ESPOCH, ayudando a la par a identificar un error en los datos obtenidos por la Estación ESPOCH en lo que se refiere a la medición de la presión atmosférica, colaborando actualmente a depurar errores y constituyéndose en una referencia base para comprobación y trazabilidad de los datos obtenidos entre las dos estaciones.

RECOMENDACIONES

- La implementación de la estación meteorológica conlleva distintas etapas que deben ser inicialmente probadas por separado con el propósito de depuración de errores en un espectro más detallado, teniendo en cuenta que el perfeccionamiento de cada etapa es lo que conlleva a la unificación de las partes.
- Se recomienda para futuras investigaciones utilizar una mayor cantidad de sensores como por ejemplo precipitación, radiación solar, dirección e intensidad de viento para medir el resto de variables de interés meteorológico y de esta manera incrementar el alcance de la investigación pues la tarjeta MyRIO puede manejar más entradas análogas y aprovechar las entradas digitales.
- Incrementar el tiempo de ejecución de pruebas de la estación con el objetivo de encontrar errores que no fueron identificados en el presente proyecto.
- Se recomienda estudiar la posibilidad de conectarse a la red inalámbrica de la ESPOCH para enlazar la estación autónoma al internet, de tal manera que se pueda incrementar la cobertura a la par que se estudian las tecnologías aplicables, con la posibilidad de crear una red de estaciones meteorológicas.
- El desarrollo de una aplicación móvil para la visualización de los datos de la estación meteorológica automática constituye una recomendación con el propósito de brindar una experiencia más inmersiva para técnicos del área y usuarios, con realimentación de datos según tiempos de muestreo y comunicación.
- Debido a la importancia de las estaciones meteorológicas se recomienda el estudio e implementación de una red de estaciones meteorológicas tal que cada *smartphone* sea una estación independiente y los mismos reporten datos meteorológicos acompañados del tiempo y la ubicación de los mismos.

BIBLIOGRAFÍA

1. **AGUILERA, Jorge & HONTORIA, Leocadio.** Curso de Energía Solar Fotovoltaica. *CIEMAT*. [En línea] diciembre de 2011. [Citado el: 15 de enero de 2020.]
<https://manuelberaun.files.wordpress.com/2011/12/dimensionado-de-sfv-autonomos.pdf>.
2. **B. Sugiarto & E. Djaelani,** "A remote control system for channel configuration on weather station over TCP/IP network," *2015 International Conference on Advanced Mechatronics, Intelligent Manufacture, and Industrial Automation (ICAMIMIA)*, Surabaya, 2015, pp. 76-80, doi: 10.1109/ICAMIMIA.2015.7508006.
3. **CAMPBELL SCIENTIFIC.** Productos Campbell Scientific. *Campbell Scientific*. [En línea] https://s.campbellsci.com/documents/es/product-brochures/b_weatherstation.pdf.
4. **CAMPETELLA, Claudia. et al.** Estación meteorológica - Inet. [En línea] 3 de 11 de 2011. [Citado el: 3 de 10 de 2018.] http://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2012/11/C9_Estacion_meteorologicaR.pdf.
5. **CREUS, Antonio.** *Instrumentación Industrial*. Barcelona : Alfaomega, 2011.
6. **FUNDACIÓN ESPAÑOLA PARA LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA.** UNIDAD DIDÁCTICA Meteorología y Climatología. [En línea] 01 de 01 de 2004. [Citado el: 27 de 3 de 2019.] <https://cab.inta-csic.es/uploads/culturacientifica/adjuntos/20130121115236.pdf>. ISBN:84-688-8535-5.
7. **GEEK FACTORY.** BMP085 Sensor de Presión Atmosférica - Geek Factory. [En línea] 1 de 5 de 2018. [Citado el: 6 de 10 de 2018.]
<https://www.geekfactory.mx/tienda/sensores/sensor-de-presion-atmosferica-bosh-bmp085/>.
8. **GIDDINGS, Lorrain y SOTO, Margarita.** Participación de américa latina y del caribe en los registros globales climatológicos, ghcn. *INCI* [online]. 2006, vol.31, n.9 [citado 2020-08-21], pp. 632-637 . Disponible en:
<http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442006000900005&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0378-1844.

9. **GOBIERNO MEXICANO.** Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMAS). [En línea] 1 de 9 de 2018. [Citado el: 24 de 12 de 2018.] <https://smn.cna.gob.mx/es/observando-el-tiempo/estaciones-meteorologicas-automaticas-ema-s>.
10. **GUZMÁN, Ricardo, et al.** “Sistema de adquisición de datos meteorológicos en tiempo real con PLC”. [En línea] 31 de 12 de 2015. [Citado el: 3 de 10 de 2018.] <http://www.redalyc.org/pdf/2631/263142750001.pdf>.
11. **HONEYWELL.** *HIH-4000 Series Humidity Sensors*. 2010.
12. **IDEAM .** Metodología de la operación estadística variables meteorológicas. [En línea] 16 de 5 de 2018. [Citado el: 14 de 4 de 2019.] <http://www.ideam.gov.co/documents/11769/72085840/Documento+metodologico+variables+meteorologicas.pdf/8a71a9b4-7dd7-4af4-b98e-9b1eda3b8744>.
13. **INAHMI.** Issuu. [En línea] 10 de nov de 2011. [Citado el: 9 de oct de 2018.] https://issuu.com/inamhi/docs/instrumentos_met.
14. **INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS.** Redes de Estaciones Meteorológicas Automáticas Y sus aplicaciones productivas. [En línea] 15 de 01 de 2006. [Citado el: 24 de 12 de 2018.] <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR34381.pdf>.
15. **INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGRÍCOLAS.** Estaciones Meteorológicas - agrometeorologia.inia.gob.ve. [En línea] 31 de 12 de 2017. [Citado el: 6 de 10 de 2018.] <http://www.agrometeorologia.inia.gob.ve/index.php/estaciones>.
16. **INSTRUMENTOS METEOROLÓGICOS.** Análisis y Opiniones del 2020 de la Estación Meteorológica MISOL Wireless. [En línea] Instrumentos Meteorológicos, 2020. [Citado el: 9 de marzo de 2020.] <https://instrumentosmeteorologicos.com/misol/misol-wireless/>.
17. **INSTRUMENTS, NATIONAL.** *User Guide and Specifications NI MyRIO-1900*. 2016.
18. **IRIEGO.** Importancia de las Estaciones meteorológicas en la agricultura. *miRiego.com*. [En línea] 17 de feb de 2016. <https://miriego-blog.com/2016/02/17/importancia-de-las-estaciones-meteorologicas-en-la-agricultura/>.

19. **JMINDUSTRIAL TECHNOLOGY S.A. DE C.V.** Tipos de Data logger por interfaz de comunicación. [En línea] 10 de 10 de 2017. [Citado el: 23 de 3 de 2019.]
<https://www.jmi.com.mx/literatura/blog/item/38-tipos-de-data-logger-por-interfaz-de-comunicacion.html>.
20. **K. & Sammy.** How to change time on myRIO ? [En línea] 2014.
<https://forums.ni.com/t5/Academic-Hardware-Products-myDAQ/How-to-change-time-on-myRIO/td-p/2806928?profile.language=es>.
21. **LABORATORIO DE MÉTODOS NÚMERICOS.** Sensor de temperatura (LM35). [En línea] 8 de 2 de 2016. [Citado el: 28 de 2 de 2020.]
<https://velardebarret.wordpress.com/2016/02/08/sensor-de-temperatura-lm35/>.
22. **LARREA, Alfonso Carlos.** Registrador de datos de bajo coste y acceso remoto (Datalogger). [En línea] 13 de 9 de 2016. [Citado el: 12 de 8 de 2019.]
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/80481/LARREA%20-%20Registrador%20de%20datos%20de%20bajo%20coste%20y%20acceso%20remoto.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
23. **LLAMAS, Luis.** Medir la humedad con arduino e higrómetro FC-28. *Medir temperatura con arduino y sensor LM35*. [En línea] 19 de 1 de 2016. [Citado el: 6 de 10 de 2018.]
<https://www.luisllamas.es/arduino-humedad-suelo-fc-28/>.
24. **LLAMOSA R., Luis Enrique. et al.** *Estudio de repetibilidad y reproducibilidad utilizando el método de promedios y rangos para el aseguramiento de la calidad de los resultados de calibración de acuerdo con la norma técnica NTCISO/IEC 17025*. Pereira : Scientia et Technica Año XIII, 2007. ISSN 0122-1701.
25. **LÓPEZ ANTÓN, Aleix & Monzo, Carlos.** openaccess.uoc.edu. [En línea] 9 de jun de 2016. [Citado el: 8 de sep de 2019.]
<http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/52761/11/atobajasgTFM0616memoria.pdf>.
26. **MARCANO, Jorge Luis.** Medidor de temperatura con termopar. [En línea] 19 de 5 de 2008. [Citado el: 1 de 2 de 2017.] <http://iindustrial.obolog.es/medidor-temperatura-termopar-86703>.
27. **MAXIM/DALLAS.** Semiconductor. *DS1307 64x8, Serial, I2C Real-Time Clock*. 2008.

28. **METEOBLUE WEATHER.** Variables meteorológicas. [En línea] 2016-2018. [Citado el: 8 de 3 de 2019.] <https://content.meteoblue.com/es/especificaciones/variables-meteorologicas>.
29. **MyRIO, NI.** *NI MyRIO-1900 Quick Start LabVIEW Users.* 2018.
30. **NATIONAL INSTRUMENTS.** Desarrollo de Sistemas con NI myRIO y CompactRIO. [En línea] 1 de 10 de 2016. [Citado el: 6 de 10 de 2018.] ftp://ftp.ni.com/pub/branches/latam/2016/educator.../202-HO_RIO_Manual.pdf.
31. **NATIONAL SEMICONDUCTOR.** *LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors.* 2000.
32. **NI.** myRIO - Dispositivos Embebido para Estudiantes. [En línea] [Citado el: 12 de 8 de 2019.] <http://www.ni.com/es-cr/shop/select/myrio-student-embedded-device>.
33. **ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL.** Guía de prácticas climatológicas. [En línea] 2018. [Citado el: 28 de 2 de 2020.] http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/ccl/guide/documents/wmo_100_es.pdf. ISBN 978-92-63-30100-0.
34. **P, H, Khotimah. et al.** "Design and implementation of Remote Terminal Unit on Mini Monitoring Weather Station Based on Microcontroller," *2011 6th International Conference on Telecommunication Systems, Services, and Applications (TSSA)*, Bali, 2011, pp. 186-190, doi: 10.1109/TSSA.2011.6095431.
35. **PROVIENTO S.A.** Estación meteorologica VOLTcraft. [En línea] Proviento S.A Energías Renovables Ecuador. [Citado el: 9 de marzo de 2020.]
36. **RCHAMAYCHAVEZ.** Product Demo Red by rchamaychavez on emaze. *app.emaze.com*. [En línea] 28 de ago de 2019. <https://app.emaze.com/@AOCQQCTQZ#13>.
37. **RENOM, Madeleine.** Estaciones meteorologicas - Departamento de Ciencias de la Atmósfera. [En línea] 15 de 01 de 2011. [Citado el: 27 de 12 de 2018.] http://meteo.fisica.edu.uy/Materias/PBMA/PBMA_teotico/Bolilla1.pdf.
38. **S, Tenzin, et al,** "Low cost weather station for climate-smart agriculture," *2017 9th International Conference on Knowledge and Smart Technology (KST)*, Chonburi, 2017, pp. 172-177, doi: 10.1109/KST.2017.7886085

39. **SÁNCHEZ, Benito.** Relación entre la presión atmosférica y la altitud. *GeoGebra*. [En línea] 25 de ene de 2020. <https://www.geogebra.org/m/JXZ8T7Bf>.
40. **SÁNCHEZ, Manolo & MAY, Ernesto.** Usos de los datos de una estación meteorológica automatizada. [En línea] 13 de 11 de 2015. [Citado el: 15 de 5 de 19.] <https://es.slideshare.net/ernestomayperez/usos-de-los-datos-de-una-estacin-meteorolgica>.
41. **SÁNCHEZ, Reinaldo.** t-Student. Usos y abusos. [En línea] 3 de 2015. [Citado el: 9 de 3 de 2020.] http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-21982015000100009. ISSN 0188-2198.
42. **SUTRON ASHISH RAVAL.** Estaciones Meteorológicas Automáticas Portátiles. [En línea] 18 de sep de 2019. <https://www.sutron.com/product/estaciones-meteorologicas-automaticas-portatiles-aws/>.
43. **TORRES, Cesar.** Estación meteorológica. [En línea] 11 de 8 de 2011. [Citado el: 22 de 2 de 2019.] <https://es.slideshare.net/lixtun/estacin-meteorolgica-8770299>.
44. **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA.** Tecnología en la UABC. [aut. libro] Nicolas Velasquéz. *Tecnología en la UABC*. México : Miguel Ángel Porrúa, 2006, págs. 94-98.
45. **Universitat Oberta de Catalunya. 2016.** Diseño e implementación de una estación meteorológica con Raspberry Pi. [En línea] 9 de 6 de 2016. [Citado el: 4 de 10 de 2018.] <http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/52761/11/atobajasgTFM0616memoria.pdf>.
46. **VAISALA.** *Barocap Barometer PTB110*. 2018.
47. **VAISALA.** *User's Guide Vaisala Barocap Barometer PTB110 Series*.
48. **VAISALA.** VAISALA/ ONLINE STORE. [En línea] [Citado el: 15 de 02 de 2020.] <https://store.vaisala.com/us/products/product/PTU30011801G1BCPB1A0F1FAB0B0A/ptu301-combined-pressure-humidity-and-temperature-transmitter>.
49. **VILLALTA, Higinio & SORTO, Godofredo.** Implementación de una estación meteorológica. [En línea] 01 de 02 de 2013. [Citado el: 5 de 10 de 2018.] <http://ri.ues.edu.sv/4372/1/Implementaci%C3%B3n%20de%20una%20estaci%C3%B3n%20meteorol%C3%B3gica.pdf>.

50. **YUMIGUANO, Miguel. et al.** Implementación de una red de estaciones meteorológicas utilizando transmisión GPRS en la Región Centro Andina Ecuatorial. [En línea] 1 de 10 de 2015. [Citado el: 4 de 10 de 2018.]
<https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/cienciaytecnologia/article/download/49/48>. ISSN: 1390-4671.

ANEXOS

ANEXO A: PLAN DE MANTENIMIENTO PARA ESTACIÓN METEOROLÓGICA.

El mantenimiento de la estación meteorológica debe sujetarse a las siguientes directrices:

- La presente es una guía para el mantenimiento periódico preventivo.
- El mantenimiento correctivo deberá limitarse a acciones de reemplazo de dispositivos o adecuaciones dependiendo de las fallas presentadas.
- De acuerdo a los años que vaya acumulando la estación o las modificaciones que sufra la misma, el mantenimiento puede ser modificado atendiendo puntos usual y particularmente críticos o variando la periodicidad.
- El mantenimiento deberá ser realizado por personal técnico autorizado.

El mantenimiento preventivo se centrará en constatar el correcto funcionamiento de los componentes de la estación meteorológica mediante mediciones y observaciones remotas e in-situ, a ser realizadas con una periodicidad de dos meses.

- La primera alarma de que algo anda mal es resultados evidentemente erróneos de mediciones en los reportes guardados lo cual puede corresponder a daños en sensores, reloj, MyRIO o cualquier otro dispositivo o conexión.
- Es necesario la verificación visual de la integridad de los elementos contenidos dentro del gabinete de equipos, debido a posibles agentes mecánicos que hubieren provocado daño contundente, humedad causada por condiciones ambientales, polvo en el interior para lo cual es necesario una limpieza del interior cada vez que se realice las inspecciones.
- Se deberá constatar el apriete necesario y fijación de las conexiones eléctricas realizadas las cuales tienden a aflojarse con el paso del tiempo debido a agentes como por ejemplo vibraciones.
- Se verifica la idoneidad de los bornes de la batería, así como del cuerpo de la misma constatando que no existan abultamientos. En lo que respecta a los sensores y capacitores se procede de similar manera al tratarse de puntos relativamente sensibles.
- Se realiza aseo del cableado y de todos los dispositivos y paredes del gabinete internas y externas para evitar futuros desperfectos por acumulación de suciedad.
- Se realiza controles de óxido, evidencia fotográfica de antes y después del trabajo de mantenimiento.
- En caso la estación sea destinada a un lugar silvestre, se requiere realizar un control de la vegetación en los alrededores de la misma, realizándose las podas pertinentes para que la

vida vegetal no irrumpa con sombras hacia los paneles solares, o condiciones que alteren el normal funcionamiento.

- Aseo de la superficie del panel solar ante suciedad o elementos extraños que pudieran quedar posados sobre las celdas solares por efectos del viento o la fauna.
- Revisión del soporte de la estructura con medidor de nivel para asegurarse que el mismo no haya sufrido desviaciones por cuestión del viento o agentes externos.
- Monitorear las pequeñas partes de cable expuesto a la intemperie el cual puede sufrir daños por acción de los elementos.
- Estudio de los datos obtenidos para las distintas variables medidas con el propósito de buscar posibles anomalías o inconsistencias que puedan ser ocasionadas por el mal funcionamiento de algún dispositivo.
- En lo que respecta al panel solar:
 - Verificar la orientación, dependiendo de la época del año puede convenir reorientarla unos cuantos grados a discreción para maximizar el aprovechamiento solar.
 - Limpiar el panel solar con un trapo húmedo, ya que la presencia de polvo reduce la energía captada del sol. No se debe arañar la superficie con alguna clase de paño rugoso.
- Para el caso de todos los dispositivos es recomendable verificar las instrucciones del fabricante adicionalmente.

Se requiere de un mantenimiento mayor a ser realizado semestralmente en el que además de las acciones recomendadas en el mantenimiento bimensual se realice lo siguiente:

- Contrastación de medidas tomadas por cada uno de los sensores, y pruebas de rango de medida útil.
- Aseo completo de las instalaciones de la estación, conexiones eléctricas, cubículo, panel, dispositivos electrónicos, y demás.
- Contrastación hora marcada por el reloj de la estación.
- Haciendo uso de un calibrador de procesos constatar la veracidad de la entrada de datos analógicos hacia la tarjeta MyRIO.
- Realizar pruebas del sistema eléctrico en cuanto a voltajes permitidos, desconexión y conexión de dispositivos eléctricos.
- Comprobación de integridad física de los sensores.

ANEXO B: MANUAL TÉCNICO DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA

Para la puesta en operación de la estación meteorológica es necesario en primer lugar comprobar el sistema eléctrico en cuanto a que todos los componentes eléctricos y electrónicos se encuentran operando sin fallas de energía eléctrica, si este no es el caso, entonces se debe proceder a la revisión del panel, controlador de carga o batería, no sin antes cerciorarse que las conexiones estén adecuadas.

Se puede remitir a la hoja de datos del controlador de carga para conocer el estado de los componentes eléctricos del sistema en lo que respecta al funcionamiento del panel solar, estado de la batería y alimentación hacia las cargas, siendo esto un buen punto de partida para la identificación de cualquier error al respecto.

Con la conexión Wi-Fi de MyRIO1900 y un computador se puede ingresar a observar los datos obtenidos por MyRIO 1900 referentes a la estación meteorológica pudiéndose verificar cada variable por separado mediante un archivo .csv. A través de esta posibilidad a más de obtenerse los datos requeridos es posible identificar posibles errores en la operación de la estación de ser el caso.

Una anomalía fuera de lo normal en los datos podría deberse a varias causas propias de la estación como lo es la falla de un sensor, desconexión de un cable, falla del reloj de tiempo real, interrupción del suministro de energía eléctrica, etc. Cada uno de los cuales debe ser analizado para poder identificar y corregir la falla aplicando conceptos ingenieriles.

Para ingresar a verificar el código *LabVIEW* implementado en la MyRIO1900 se requiere de la conexión de un computador hacia la tarjeta en cuestión, haciendo uso del Wi-Fi de la misma y mediante el *software LabVIEW* instalado en el computador, usando el respectivo archivo del programa actualizado. Llegado a este punto es primordial tener especial cuidado de no alterar involuntariamente el código desarrollado, lo cual resultaría en impredecibles errores. Por este motivo es muy recomendable tener copias de seguridad del *software* con lo cual en caso de que por algún motivo el *software* cargado en la tarjeta ha sido erróneamente modificado, se pueda realizar una carga del *software* de la copia de seguridad.

En lo que respecta a verificación específica de algún componente de la estación meteorológica es necesario remitirse a las hojas de datos propias de aquel dispositivo, las cuales para todos los casos se encuentran disponibles en Internet de manera gratuita.

Cualquier modificación que se desee realizar sobre el trabajo actual con el propósito de apoyar fines académicos o investigativos, deberá ser pertinentemente justificada, detallando las mejoras a obtenerse y documentando los cambios realizados de una manera tal que complementen la vasta información actualmente desarrollada. Es importante resaltar que la manera en que la estación meteorológica construida se relaciona con la estación meteorológica ESPOCH permite que la investigación se profundice y de paso a nuevos investigadores capaces de añadir técnica y conocimiento de una manera ordenada.

Las posibles anomalías serán oportunamente minimizadas a un punto de extremadamente baja probabilidad si se aplican adecuadamente las técnicas y procedimientos detallados en el Plan de Mantenimiento de la Estación Meteorológica. Adicionalmente, los capítulos 2 y 3 del presente trabajo pueden ser empleados como referencia para consulta, depuración de errores, y mejoras para la Estación Meteorológica construida.

ANEXO C: PROFORMA DE COMPONENTES ESTACIÓN METEOROLÓGICA AUTOMÁTICA SIN INCLUIR *DATALOGGER*

Teléfono 0992878958 / (593-2) 2494 590 hrijavi@gmail.com
RUC: 1716994858001
Dirección:
El Condado, La Sirena De4-63 y Av. Occidental (Quito – Ecuador)



PROFORMA N°: 2019-06-0207

CLIENTE:

ATENCIÓN A: Ing. Fausto Cabrera

FECHA: 27-05-2019

1.- Equipos de Estaciones Meteorológicas

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	P. Unitario	SUB TOTALES
1	Panel solar 12 V, 25 W	47.00	47.00
1	Regulador de carga Phocos CML 12/24V 5/5 A CML05-2.2, 12 / 24 V, 5. A	38.00	38.00
1	Batería de ciclo profundo 12V 12AH	45.00	45.00
1	Anemómetro Vaisala WMS302 incluye cable 10m	600.00	600.00
1	sensor de presión Vaisala ptb110 (usado)	200.00	200.00
1	Pluviómetro de 1 balancin marca Pronamic profesional rain gauge con resolución 0.1mm	170.00	170.00
1	marca Cinterion modelo bgs2t , 2g, con interfaz ser	170.00	170.00
SUBTOTAL			1270.00
SUBTOTAL			152.40
SUBTOTAL			1422.40

FORMA Y CONDICIÓN DE PAGO

El 50% de anticipo y 50% contra entrega, previa suscripción de acta de entrega recepción a conformidad y entrega de informes

VIGENCIA DE LA OFERTA

La oferta tendrá una vigencia de 15 días.

Atentamente



Ing. Javier Acosta
0992878958
hrijavi@gmail.com

ANEXO D: TABLA DE DATOS DESCARGADOS DE LA MEMORIA INTERNA.



A	B	C	D	E
Fecha	Hora	Presión	Temperatura	Humedad
02/18/20	12:50:14 PM	727.6367	20.6706	63.0588
02/18/20	1:00:14 PM	727.3437	20.0195	61.4174
02/18/20	1:10:14 PM	727.6367	20.4264	60.6677
02/18/20	1:20:14 PM	727.3437	20.1416	60.7194
02/18/20	1:30:14 PM	727.3437	20.1416	59.8276
02/18/20	1:40:14 PM	727.3437	19.3278	61.7663
02/18/20	1:50:14 PM	727.0508	19.2057	60.0861
02/18/20	2:00:14 PM	726.7578	19.9381	57.9794
02/18/20	2:10:14 PM	726.4648	19.4499	57.9794
02/18/20	2:20:14 PM	726.4648	19.3685	53.9470
02/18/20	2:30:14 PM	726.4648	17.8223	55.6401
02/18/20	2:40:14 PM	726.4648	18.1885	56.0020
02/18/20	2:50:14 PM	726.4648	17.9036	57.7468
02/18/20	3:00:14 PM	726.1719	18.3105	57.0877

02/18/20	3:10:14 PM	726.1719	18.7581	56.7387
02/18/20	3:20:14 PM	726.1719	17.5374	58.9617
02/18/20	3:30:14 PM	726.1719	17.1712	62.5289
02/18/20	3:40:14 PM	725.8789	18.1071	58.4706
02/18/20	3:50:14 PM	725.8789	17.2933	61.6629
02/18/20	4:00:14 PM	725.8789	16.8457	62.9941
02/18/20	4:10:14 PM	725.5859	16.7643	63.5111
02/18/20	4:20:14 PM	725.5859	16.6016	63.4982
02/18/20	4:30:14 PM	725.5859	17.0492	62.2316
02/18/20	4:40:14 PM	725.5859	16.8457	62.2574
02/18/20	4:50:14 PM	725.2929	17.3340	61.3527
02/18/20	5:00:14 PM	725.5859	17.5374	59.8923
02/18/20	5:10:14 PM	725.5859	17.5374	60.9779
02/18/20	5:20:14 PM	725.5859	17.1712	61.4303
02/18/20	5:30:14 PM	725.5859	16.6423	63.7050
02/18/20	5:40:14 PM	725.5859	16.6423	65.1784
02/18/20	5:50:14 PM	725.8789	16.4388	67.9571
02/18/20	6:00:14 PM	725.5859	16.4795	69.2237
02/18/20	6:10:14 PM	726.1719	16.1133	68.0993
02/18/20	6:20:14 PM	725.8789	16.1133	70.6583
02/18/20	6:30:14 PM	725.8789	15.8284	73.4371
02/18/20	6:40:14 PM	726.1719	15.1367	75.5967
02/18/20	6:50:14 PM	726.4648	14.6484	77.6246
02/18/20	7:00:14 PM	726.4648	14.6077	78.6327
02/18/20	7:10:14 PM	726.7578	14.1195	81.7992
02/18/20	7:20:14 PM	726.4648	13.8753	84.0093
02/18/20	7:30:14 PM	726.7578	13.4684	85.0304
02/18/20	7:40:14 PM	726.7578	13.1836	86.9561
02/18/20	7:50:14 PM	727.0508	12.4512	89.2437
02/18/20	8:00:14 PM	727.3437	12.2477	92.3844
02/18/20	8:10:14 PM	727.3437	12.3291	92.5524

02/18/20	8:20:14 PM	727.6367	12.1256	92.6940
02/18/20	8:30:14 PM	727.3437	11.5153	94.4264
02/18/20	8:40:14 PM	727.6367	11.5967	95.2536
02/18/20	8:50:14 PM	727.9297	11.5960	95.0983
02/18/20	9:00:14 PM	727.9297	11.5153	94.3747
02/18/20	9:10:14 PM	728.2226	10.8643	94.2435
02/18/20	9:20:14 PM	728.2226	10.7015	94.8788
02/18/20	9:30:14 PM	728.5156	10.3353	96.0937
02/18/20	9:40:14 PM	728.2226	10.3353	96.8950
02/18/20	9:50:14 PM	728.5156	10.5387	96.6107
02/18/20	10:00:14 PM	728.5156	10.7422	96.3005
02/18/20	10:10:14 PM	728.5156	10.6201	96.4683
02/18/20	10:20:14 PM	728.8086	9.7249	95.9515
02/18/20	10:30:14 PM	728.8086	10.0505	98.1487
02/18/20	10:40:14 PM	728.8086	10.0098	97.7997
02/18/20	10:50:14 PM	728.8086	10.0911	97.4378
02/18/20	11:00:14 PM	728.5156	9.8877	97.6963
02/18/20	11:10:14 PM	728.8086	10.9049	94.0258
02/18/20	11:20:14 PM	728.8086	10.5387	95.0597
02/18/20	11:30:14 PM	728.5156	11.0677	94.1163
02/18/20	11:40:14 PM	728.8086	11.5967	91.8674
02/18/20	11:50:14 PM	728.5156	11.9222	91.9191
02/19/20	12:00:14 AM	728.2226	12.0850	91.5960
02/19/20	12:10:14 AM	728.2226	12.0443	90.7817
02/19/20	12:20:14 AM	727.9297	12.0443	89.5927
02/19/20	12:30:14 AM	727.9297	12.1256	91.6865
02/19/20	12:40:14 AM	728.2226	12.1663	90.1743
02/19/20	12:50:14 AM	727.9297	12.0850	93.4183
02/19/20	1:00:14 AM	728.2226	12.4105	92.9143
02/19/20	1:10:14 AM	727.6367	12.2070	93.7414
02/19/20	1:20:14 AM	727.6367	12.4919	93.3279

02/19/20	1:30:14 AM	727.3437	12.4105	94.3489
02/19/20	1:40:14 AM	727.3437	12.3698	93.6639
02/19/20	1:50:14 AM	727.3437	12.3291	94.8530
02/19/20	2:00:14 AM	727.0508	12.2070	95.7318
02/19/20	2:10:14 AM	727.0508	12.0443	95.9903
02/19/20	2:20:14 AM	727.0508	12.0850	95.7189
02/19/20	2:30:14 AM	727.0508	12.1256	95.9128
02/19/20	2:40:14 AM	726.7578	12.0443	95.7447
02/19/20	2:50:14 AM	727.0508	12.2070	94.9046
02/19/20	3:00:14 AM	726.7578	12.3291	94.8400
02/19/20	3:10:14 AM	727.0508	12.0036	95.1890
02/19/20	3:20:14 AM	726.7578	12.2070	93.8578
02/19/20	3:30:14 AM	727.0508	12.2477	95.0727
02/19/20	3:40:14 AM	726.7578	12.2477	96.0032
02/19/20	3:50:14 AM	727.0508	12.0850	95.7189
02/19/20	4:00:14 AM	726.7578	12.2070	95.9774
02/19/20	4:10:14 AM	727.0508	12.2477	95.8998
02/19/20	4:20:14 AM	727.3437	12.1256	95.3570
02/19/20	4:30:14 AM	726.7578	11.9629	94.3618
02/19/20	4:40:14 AM	727.0508	12.1256	95.0210
02/19/20	4:50:14 AM	727.0508	12.1256	95.3053
02/19/20	5:00:14 AM	726.7578	12.0036	96.3780
02/19/20	5:10:14 AM	727.3437	12.0443	96.2746
02/19/20	5:20:14 AM	727.0508	12.0850	95.5250
02/19/20	5:30:14 AM	727.3437	11.8408	95.6155
02/19/20	5:40:14 AM	727.3437	11.8815	96.0549
02/19/20	5:50:14 AM	727.3437	11.1898	96.8433
02/19/20	6:00:14 AM	727.6367	11.6374	96.7528
02/19/20	6:10:14 AM	727.6367	11.7187	96.0679
02/19/20	6:20:14 AM	727.9297	11.7594	96.5848
02/19/20	6:30:14 AM	727.9297	11.9222	96.8175

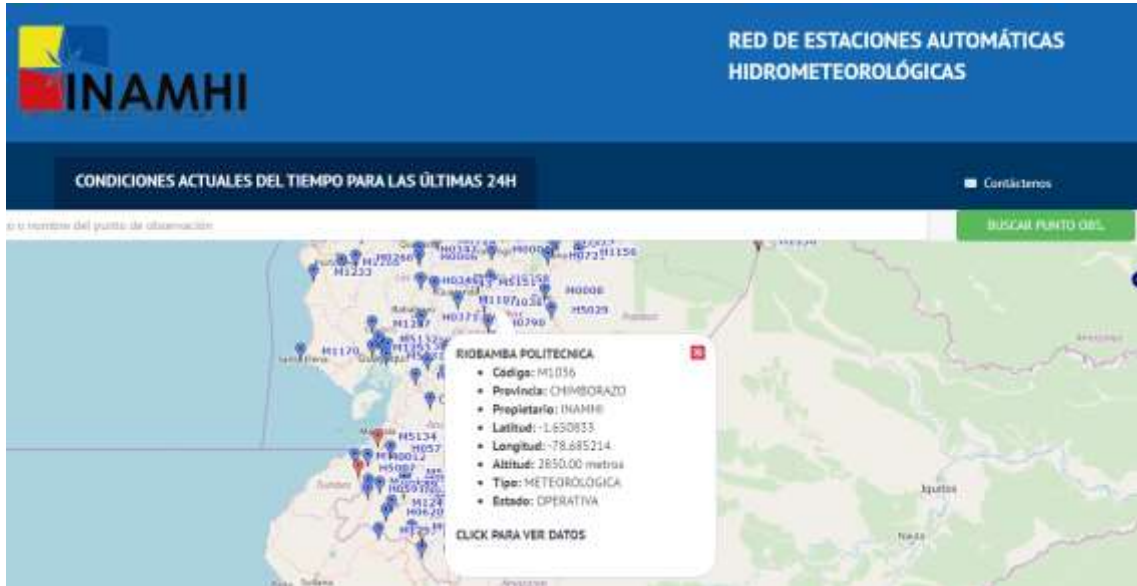
02/19/20	11:50:14 AM	728.8086	18.3105	68.9652
02/19/20	12:00:14 PM	729.1015	18.7174	69.5985
02/19/20	12:10:14 PM	729.1015	17.9443	65.6566
02/19/20	12:20:14 PM	728.8086	18.4326	61.6371
02/19/20	12:30:14 PM	728.8086	17.9850	60.0603
02/19/20	12:40:14 PM	728.5156	18.4326	57.6176
02/19/20	12:50:14 PM	728.2226	19.5312	55.9374
02/19/20	1:00:14 PM	728.5156	19.1243	54.0375
02/19/20	1:10:14 PM	728.5156	19.3278	54.3994
02/19/20	1:20:14 PM	728.5156	18.0664	56.5965
02/19/20	1:30:14 PM	727.9297	18.7174	56.9584
02/19/20	1:40:14 PM	727.6367	18.1478	57.0230
02/19/20	1:50:14 PM	727.9297	18.2699	56.6870
02/19/20	2:00:14 PM	727.6367	19.1650	62.9424
02/19/20	2:10:14 PM	727.9297	18.9616	65.5790
02/19/20	2:20:14 PM	727.9297	17.0898	62.4513
02/19/20	2:30:14 PM	727.3437	19.2057	62.5547
02/19/20	2:40:14 PM	727.3437	19.1650	63.0071
02/19/20	2:50:14 PM	727.6367	17.8630	60.6936
02/19/20	3:00:14 PM	727.3437	18.1071	59.6467
02/19/20	3:10:14 PM	727.3437	19.7754	52.6287
02/19/20	3:20:14 PM	727.0508	18.7988	53.5334
02/19/20	3:30:14 PM	726.7578	19.0023	52.3315
02/19/20	3:40:14 PM	727.0508	18.9616	52.3961
02/19/20	3:50:14 PM	726.4648	18.3105	53.4430
02/19/20	4:00:14 PM	726.4648	19.7347	50.5867
02/19/20	4:10:14 PM	726.4648	18.4326	52.7063
02/19/20	4:20:14 PM	726.1719	21.8064	45.7012
02/19/20	4:30:14 PM	725.8789	19.1650	46.6964
02/19/20	4:40:14 PM	725.8789	19.8975	52.2151
02/19/20	4:50:14 PM	725.8789	21.1182	53.3137

02/19/20	6:40:14 AM	728.2226	11.9222	97.0630
02/19/20	6:50:14 AM	727.9297	12.1256	94.9305
02/19/20	7:00:14 AM	728.2226	12.1663	96.6624
02/19/20	7:10:14 AM	728.2226	12.5326	94.9951
02/19/20	7:20:14 AM	728.5156	12.4919	94.1163
02/19/20	7:30:14 AM	728.8086	12.6953	94.8400
02/19/20	7:40:14 AM	728.8086	13.2243	94.2714
02/19/20	7:50:14 AM	728.8086	14.3636	88.9852
02/19/20	8:00:14 AM	729.1015	14.8926	82.6135
02/19/20	8:10:14 AM	729.3945	16.3981	83.5053
02/19/20	8:20:14 AM	729.1015	19.4092	76.7975
02/19/20	8:30:14 AM	729.3945	19.8568	63.6016
02/19/20	8:40:14 AM	729.3945	19.4906	62.5289
02/19/20	8:50:14 AM	729.6875	22.8678	54.8000
02/19/20	9:00:14 AM	729.3945	23.8444	54.5803
02/19/20	9:10:14 AM	729.3945	22.1761	54.9939
02/19/20	9:20:14 AM	729.6875	23.6003	52.6416
02/19/20	9:30:14 AM	729.6875	21.2809	51.3363
02/19/20	9:40:14 AM	729.3945	18.8802	64.7519
02/19/20	9:50:14 AM	729.6875	19.8161	66.3674
02/19/20	10:00:14 AM	729.6875	19.2871	62.9554
02/19/20	10:10:14 AM	729.6875	19.7347	59.5175
02/19/20	10:20:14 AM	729.6875	19.0023	65.7471
02/19/20	10:30:14 AM	729.3945	19.9788	61.7534
02/19/20	10:40:14 AM	729.3945	19.5312	63.9247
02/19/20	10:50:14 AM	729.1015	20.5078	64.0410
02/19/20	11:00:14 AM	729.1015	19.4092	66.3545
02/19/20	11:10:14 AM	729.1015	18.4326	72.5453
02/19/20	11:20:14 AM	729.3945	19.1243	67.1946
02/19/20	11:30:14 AM	729.3945	18.8395	68.6809
02/19/20	11:40:14 AM	729.1015	19.0023	67.8150

02/19/20	5:00:14 PM	725.8789	21.8099	42.8061
02/19/20	5:10:14 PM	725.8789	22.0540	45.6107
02/19/20	5:20:14 PM	726.4648	21.5658	43.3102
02/19/20	5:30:14 PM	726.1719	18.9616	54.7871
02/19/20	5:40:14 PM	726.1719	18.2292	59.5045
02/19/20	5:50:14 PM	726.1719	18.1071	58.3413
02/19/20	6:00:14 PM	725.8789	17.3340	57.8631
02/19/20	6:10:14 PM	726.1719	16.9678	60.2412
02/19/20	6:20:14 PM	726.4648	17.1305	61.1459
02/19/20	6:30:14 PM	726.1719	17.0492	62.0507
02/19/20	6:40:14 PM	726.1719	17.1712	63.2914
02/19/20	6:50:14 PM	726.7578	17.2119	64.7280
02/19/20	7:00:14 PM	726.7578	17.0898	65.4498
02/19/20	7:10:14 PM	727.0508	16.3574	71.5631
02/19/20	7:20:14 PM	727.0508	16.0726	75.9315
02/19/20	7:30:14 PM	727.3437	15.5029	78.3613
02/19/20	7:40:14 PM	727.3437	15.6250	77.5729
02/19/20	7:50:14 PM	727.3437	15.3402	75.3370
02/19/20	8:00:14 PM	727.3437	15.8691	75.1561
02/19/20	8:10:14 PM	727.3437	15.7064	75.0527
02/19/20	8:20:14 PM	727.9297	15.6657	76.6295
02/19/20	8:30:14 PM	727.6367	14.6484	82.9754
02/19/20	8:40:14 PM	728.2226	14.4043	85.0562
02/19/20	8:50:14 PM	728.2226	15.0146	82.2904
02/19/20	9:00:14 PM	727.9297	14.7298	81.3986
02/19/20	9:10:14 PM	728.2226	14.3636	82.8073
02/19/20	9:20:14 PM	727.9297	14.7298	80.0803
02/19/20	9:30:14 PM	728.5156	14.8519	81.3081
02/19/20	9:40:14 PM	728.2226	14.3229	85.0174
02/19/20	9:50:14 PM	728.5156	14.3636	84.6555
02/19/20	10:00:14 PM	728.8086	14.6891	87.7703

ANEXO E: RED DE ESTACIONES AUTOMÁTICAS HIDROMETEOROLÓGICAS.

<http://186.42.174.236/InamhiEmas/>



FECHA HORA GMT ±9	HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE (%) INT	HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE (%) MAX	HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE (%) MIN	PRECIPITACION (mm) SUM	PRECIP DON ATMOSFERICA (mm) INT	TEMPERATURA AIRE (°C) INT	TEMPERATURA AIRE (°C) MAX	TEMPERATURA AIRE (°C) MIN	VENTO DIRECCION (°) INT	VENTO VELOCIDAD (km/h) INT
2020-03-15 02:00:00	100			0	400.0	11.0			181	0.2
2020-03-15 02:00:00	100	100	100	0	400.0	11.0	12	11.0	230	0.7
2020-03-15 01:00:00	87	100	88	0.1	400.0	12.7	12.7	11.0	174	0.7
2020-03-15 00:00:00	100	100	98	0	400.0	12.0	12.0	12.0	270	0.4
2020-03-14 23:00:00	83	100	81	0.8	400.0	13.0	13.0	12.7	122	1.0
2020-03-14 22:00:00	100	100	93	0.1	400.0	12.0	13.7	13.2	181	0.5
2020-03-14 21:00:00	94	100	94	1.4	400.0	14.2	14.3	13.0	85	1.1
2020-03-14 20:00:00	87	94	88	1.2	400.7	15.4	15.2	14.3	40	0.0
2020-03-14 19:00:00	72	74	85	0	400.7	16.0	16.0	16.0	32	0.0
2020-03-14 18:00:00	80	72	85	0	400.0	17.0	17.0	16.0	133	1.2
2020-03-14 17:00:00	88	84	81	0	400.0	16.5	16.9	17.8	150	1.0
2020-03-14 16:00:00	85	90	81	0	400.0	16.4	20.0	16.0	112	0.2
2020-03-14 15:00:00	84	87	81	0	400.7	16.7	20	16.0	87	0.0
2020-03-14 14:00:00	90	84	42	0	400.0	18.7	22.2	16.0	101	2.0
2020-03-14 13:00:00	82	87	47	0	400.0	19.4	20.5	16.7	85	2
2020-03-14 12:00:00	81	80	80	0	400.0	20.4	20.0	16.7	167	1.2
2020-03-14 11:00:00	83	84	80	0	400.7	18	20.0	17.0	137	2.1
2020-03-14 10:00:00	77	77	80	0	400.7	16.2	16.0	14.7	168	1.3
2020-03-14 09:00:00	70	82	74	0	400.7	14.4	16.1	14.1	174	1.4
2020-03-14 08:00:00	86	81	77	0	400.0	12.0	14.8	12.7	172	1
2020-03-14 07:00:00	88	90	88	0	400.0	11.0	12.0	11.0	100	0.7

ANEXO F: HOJAS TÉCNICAS DE LOS ELEMENTOS QUE CONFORMAN LA EMA.





HIH-4000 Series Humidity Sensors

DESCRIPTION
The HIH-4000 Series Humidity Sensors are designed specifically for high volume OEM Computer Equipment Manufacturer users.

Direct input to a controller or other device is made possible by the sensor's near zero voltage output. With a typical current draw of only 200 μ A, the HIH-4000 Series is often easily suited for low drain, battery operated systems.

Tight sensor interchangeability reduces or eliminates OEM production calibration costs. Individual sensor calibration data is available.

FEATURES

- Matched element plastic housing
- Near zero voltage output vs. % RH
- Laser trimmed selectivity/accuracy
- Low power design
- Enhanced accuracy
- Fast response time
- Stable, low drift performance
- Chemically resistant

POTENTIAL APPLICATIONS

- Navigation equipment
- HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning) equipment
- Medical equipment
- Drying
- Monitoring
- Battery-powered systems
- OEM assemblies

The HIH-4000 Series delivers industrial-quality RH (Relative Humidity) sensing performance in a compactly sized, sensitive SIP (Single In-Line Package).

Available in low wall spacing configurations, the sensor is a near thermal, zero-drift custom capacitor sensing element with on-chip integrated signal conditioning.

The sensing element's multilayer construction provides excellent resistance to most application hazards such as wetting, dust, oil, salt and common environmental chemicals.

HIH-4000 Series

Table 1. Performance Specifications (At 5 Vdc supply and 75 \pm 1% (T₁) unless otherwise noted.)

Parameter	Minimum	Typical	Maximum	Unit	Specific Note
Operating range (RH range output)	—	—	—	—	—
— 2% RH to 100% RH	—	—	—	% RH	—
— 95% RH to 100% RH	—	—	—	% RH	—
Accuracy (RH) (100% RH)	-0.5	—	+0.5	% RH	1
Resolution	—	0.1	—	% RH	—
Repeatability	—	+0.3	—	% RH	—
Settling time	—	70	—	ms	—
Response time (10% to 90% rising air)	—	8	—	s	—
Supply (at 10% RH)	—	1.2	—	% RH	—
Voltage output	—	—	0.3	VDC	2
Current supply	—	200	—	μ A	—
Voltage output (1% RH) (at 5Vdc)	V _{OUT} = (Supply - 0.025V) (Sensor RH) + 0.18V (at 25 \pm 1% °C)				
Temperature compensation	Slope (RH = 100%) (RH) (RH) = 0.002 (at 1% °C)				
Output voltage temperature coefficient at 100% RH, 5 V	—				
Operating temperature	-40	See Figure 1	125	°C/°F	—
Operating humidity	0	See Figure 2	100	% RH	3
Storage temperature	-55	—	+125	°C/°F	—
Storage humidity	See Figure 3				

Specific Notes:

1. Can only be achieved with the fastest rise and fall.
2. Device is calibrated at 5 VDC and 25 \pm 1% °C.
3. Non-condensing environment.

General Notes:

- Output is relative to supply voltage.
- Excessive moisture (>100% RH) causes a reversible shift of 2% RH.
- Sensor is light sensitive. For best performance, shield sensor from bright light.

FACTORY CALIBRATION DATA
HIH-4000 Sensors may be ordered with a calibration and data printed. See Table 2 and the order guide on the back page.

Table 2. Example Data Printout

Model	HIH-4000-001
Order#	81
Lot#	0100264
Date	07/15/01
Calculated values at 5 V	
V _{OUT} at 0% RH	0.428 V
V _{OUT} at 100% RH	1.188 V
Linear Output for 10% RH accuracy at 25 \pm 1% °C	
Zero Offset	0.428 V
Slope	0.440 mV/%RH
RH	V _{OUT} - zero offset / slope
Reference: response for 0% RH is 100% RH	
V _{OUT}	V _{OUT} / (0.7602 to 0.7702)

CAUTION
ELECTROSTATIC SENSITIVE DEVICE
HANDLE WITH CARE
PREVENTIVE MEASURES

**ESD SENSITIVITY:
CLASS 3A**

HIH-4000 Series Humidity Sensors

Figure 1. Sensing Environment (Non-condensing environment.)

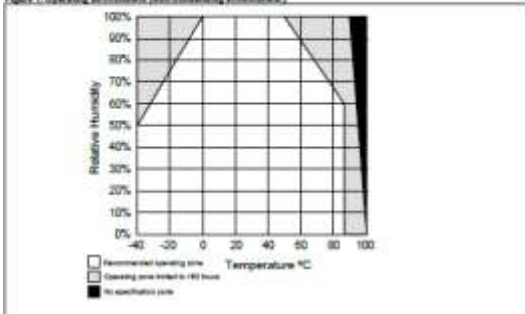
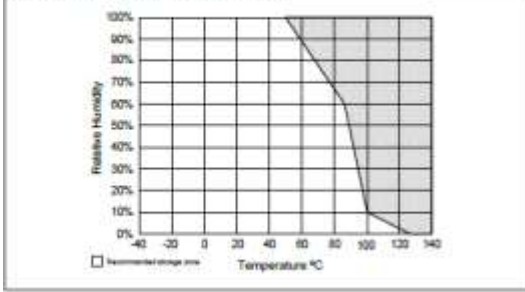


Figure 2. Storage Environment (Non-condensing environment.)



Honeywell Sensing and Control 3

HIH-4000 Series

Figure 3. Typical Output Voltage vs. Relative Humidity (At 25 \pm 1% °C, 5Vdc, 5 V)

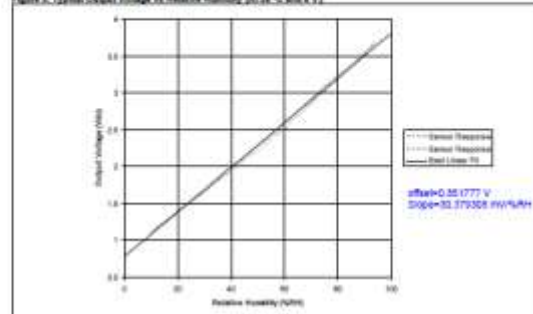
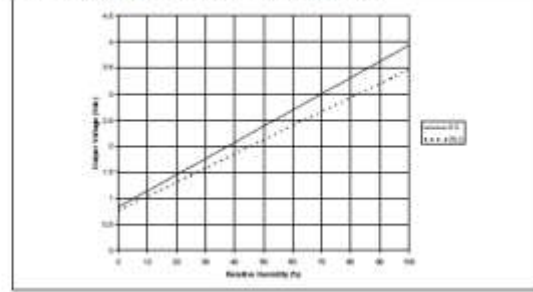


Figure 4. Typical Output Voltage (RH%) vs. Relative Humidity (At 0 \pm 1% °C, 75 \pm 1% °C, and 8 V)



Honeywell Sensing and Control 4

Humidity Sensors

Figure 4. Mounting Dimensions (For reference only, not for)

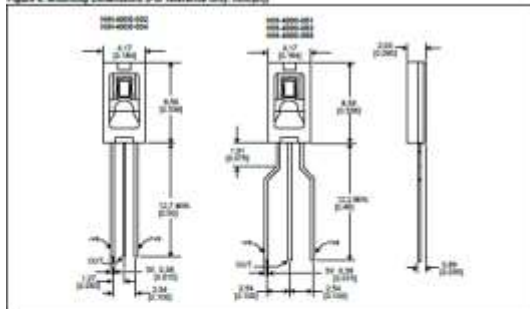
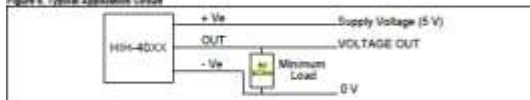


Figure 5. Typical Application Circuit



ORDER GUIDE

Ordering Part Number	Description
HH-4000-001	Integrated circuit humidity sensor, 2.54 mm (0.100 in.) lead pitch, DIP
HH-4000-002	Integrated circuit humidity sensor, 3.27 mm (0.129 in.) lead pitch, DIP
HH-4000-003	Integrated circuit humidity sensor, 2.54 mm (0.100 in.) lead pitch, DIP, cathode and data pinout
HH-4000-004	Integrated circuit humidity sensor, 3.27 mm (0.129 in.) lead pitch, DIP, cathode and data pinout
HH-4000-005	Equivalent to HH-4000-001

ADDITIONAL HUMIDITY SENSOR INFORMATION

See the following associated literature at www.honeywell.com/sensing:

- Product installation instructions
- Application sheets
 - Humidity Sensor Performance Characteristics
 - Humidity Sensor Theory and Behavior
 - Humidity Sensor Module and Post-assembly
 - Thermistor Polymer-based Capacitive Sensors

Honeywell Sensing and Control

WARNING

REUSE OF DOCUMENTATION

- The information presented in this product should be for reference only. Do not use this document as a product installation guide.
 - Complete installation, operation, and maintenance information is provided in the instructions supplied with each product.
- Failure to comply with these instructions could result in death or serious injury.

WARNING

PERSONAL INJURY

- DO NOT use these products as safety or emergency stop devices or in any other application where failure of the product could result in personal injury.
- Failure to comply with these instructions could result in death or serious injury.

SALES AND SERVICE

Honeywell serves its customers through a worldwide network of sales offices, representatives and distributors. For representative assistance, current certifications, pricing or name of the nearest Authorized Distributor, contact your local sales office or:

Email: info.us@honeywell.com

Internet: www.honeywell.com/sensing

Phone and Fax:

Asia Pacific	+65 4325 2628
Europe	+49 3409 3033 Fax +49 34 1636 401401
Latin America	+1 303 493 4188 +1 303 493 4257 Fax
USA/Canada	+1 800 431 4345 +1 410 234 8307 +1 410 234 8445 Fax

Specifications may change without notice. The information we supply is believed to be accurate and reliable as of this printing. However, we assume no responsibility for its use.

Sensing and Control

Honeywell
1380 Douglas Drive North
System Valley, MN 55412

00011606, 000, 001, Power Line USA
August 2010
© 2010 Honeywell International Inc. All rights reserved.

Honeywell



TEXAS INSTRUMENTS LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors

1 Features

- Calibrated Directly in Celsius (Centigrade)
- Linear + 10mV/°C Output Slope
- ± 0.1°C Measure Accuracy (at 25°C)
- Rated for Full -55°C to 150°C Range
- Usable for Remote Applications
- Low-Cost Due to Wafer-Level Trimming
- Operates From 4 V to 30 V
- Less Than 10-µA Current Drain
- Low Self-Heating, 0.05°C in 200 Air
- Non-Linearity Only ±1°C Typical
- Low-Impedance Output, 0.1 Ω for 1-mA Load

2 Applications

- Power Supplies
- Battery Management
- HVAC
- Appliances

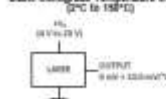
3 Description

The LM35 series are precision integrated-circuit temperature devices with an output voltage linearly proportional to the Centigrade temperature. The LM35 device has an advantage over linear structure sensors calibrated in kelvins, as the user is not required to subtract a large constant voltage from the output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 device does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of ±1°C at room temperature and ±1°C over a full -55°C to 150°C temperature range. Lower cost is achieved by trimming and calibration of the wafer level. The low-output impedance, linear output, and precise inherent calibration of the LM35 device makes interfacing to resistors or current sources especially easy. The device is used with single power supplies, or with both plus and minus supplies. As the LM35 device draws only 60 µA from the supply, it has very low self-heating of less than 0.1°C in 400 air. The LM35 device is rated to operate over a -55°C to 150°C temperature range, while the LM33C device is rated for a -40°C to 110°C range (±1°C with improved accuracy). The LM35-series devices are available packaged in hermetic 10-lead transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D devices are available in the plastic TO-18 transistor package. The LM35D device is available in an 8-lead surface-mount small-outline package and a plastic TO-220 package.

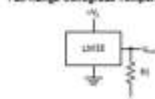
PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (mm)
LM35	TO-18 (3)	4.50 mm × 4.50 mm
	TO-18 (9)	4.50 mm × 4.50 mm
	SO-8 (8)	4.00 mm × 3.50 mm
	TO-220 (3)	14.00 mm × 10.16 mm

(1) For all available packages, see the pinlist, electrical data and the end of this datasheet.

Basic Centigrade Temperature Sensor (2°C to 150°C)



Full-Range Centigrade Temperature Sensor



$$I_{OUT} = I_{CC} + I_{OUT} = 10 \mu A$$

$$I_{CC} = 60 \mu A @ 25^\circ C$$

$$I_{CC} = 70 \mu A @ 150^\circ C$$

$$I_{CC} = 60 \mu A @ -55^\circ C$$

IMPORTANT NOTICE At the end of this data sheet address, warranty, changes, use in safety-critical applications, intellectual property notices and other important disclosures. PRODUCTION DATA.

LM35

00011606-01, 00011606-02, 00011606-03, 00011606-04



Table of Contents

1 Features	1	7.1 Feature Description	13
2 Description	1	7.2 Device Functional Modes	13
3 Revision History	2	8 Application and Implementation	14
4 Pin Configuration and Functions	3	8.1 Application Information	14
5 Specifications	4	8.2 Typical Applications	14
5.1 Electrical Characteristics	4	8.3 System Examples	16
5.2 ESD Rating	4	9 Power Supply Recommendations	18
5.3 Recommended Operating Conditions	4	9.1 Lister Summary	18
5.4 Thermal Information	4	9.2 Layout Examples	20
5.5 Electrical Characteristics: LM35A, LM35CA, LM35D, LM35D	6	10 Device and Documentation Support	21
5.6 Electrical Characteristics: LM35, LM35C, LM35D, LM35D	6	10.1 Receiving Notification of Documentation Updates	21
5.7 Typical Characteristics	9	10.2 Community Resources	22
5.8 Thermal Characteristics: LM35, LM35C, LM35D, LM35D	9	10.3 Trademarks	21
6 Detailed Description	11	10.4 Reorganization Change Cadence	21
7 Overview	11	10.5 Glossary	21
7.1 Overview	11	12 Mechanical, Packaging, and Orderable Information	21
7.2 Functional Block Diagram	11		

4 Revision History

Change from Revision G (August 2010) to Revision H	Page
Changed NCV Package (TO-220) group from bottom view back to top view, added footnote to pinout.	3
Added pin numbers to the TO-220 (TO-18) pinout.	3

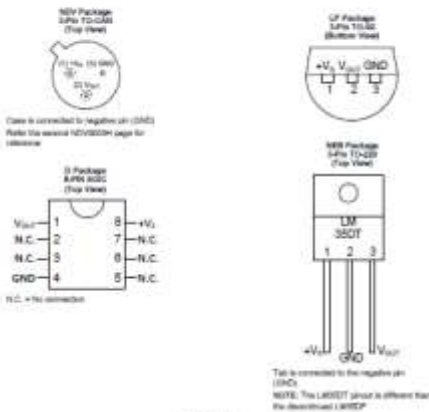
Change from Revision F (January 2010) to Revision G	Page
Revision F, changed Pin 10 output to 10mV/°C.	13
Power Supply Recommendations, changed Pin 10 to 5.0-V power supply to 10-V to 30-V power supply.	18

Change from Revision E (January 2010) to Revision F	Page
Changed NCV Package (TO-220) group from Top View to Bottom View.	3

Change from Revision D (October 2010) to Revision E	Page
Added Pin Configuration and Functions section, ESD Ratings table, Feature Description section, Device Functional Modes, Application and Implementation section, Power Supply Recommendations section, Layout section, Device and Documentation Support section, and Mechanical, Packaging, and Orderable Information section.	1

Change from Revision C (July 2010) to Revision D	Page
Changed M to D.	1
Changed R to U in All Non-Sensitive.	6

5 Pin Configuration and Functions



Pin Functions						
NAME	TO-18	TO-18	TO-18	TO-220	TYPE	DESCRIPTION
Output	3	3	3	1	O	Temperature-Sensitive Precision Centigrade
N.C.	—	—	—	2	—	No Connection
N.C.	—	—	—	3	—	No Connection
GND	8	8	2	4	GND	Device ground pin; connect to power supply negative terminal
N.C.	—	—	—	5	—	No Connection
N.C.	—	—	—	6	—	No Connection
N.C.	—	—	—	7	—	No Connection
V _{CC}	5	5	5	8	POWER	Positive power supply pin

6 Specifications

6.1 Absolute Maximum Ratings

PARAMETER	MIN	MAX	UNIT
Supply voltage	-0.2	30	V
Output voltage	-0.1	0	V
Output current	—	50	mA
Maximum Junction Temperature, T _{max}	—	150	°C
Storage Temperature, T _{stg}	TO-18, TO-220 Package	-65	150
	TO-209, SOIC Package	-65	150

- If MOS processes specified devices are required, please contact the Texas Instruments Sales Office Distribution for availability and information.
- Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its rated operating conditions.

6.2 ESD Ratings

TYPE	ESD-RATING	HUMAN-BODY MODEL (HBM), per JEDEC/JEDEC3C-20.2011	VALUE	UNIT
Class	—	—	2000	V

- JEDEC document JESD-22-A100 states that SOIC-MEM should only be manufactured with a standard ESD control process.

6.3 Recommended Operating Conditions

Operating over air temperature range (unless otherwise noted)			
	MIN	MAX	UNIT
Specific operating temperature, T _{amb} (1)	LM35, LM35A	-55	150
	LM35C, LM35CA	-40	110
	LM35D	0	100
Basic Voltage (V _{CC})	4	30	V

6.4 Thermal Information

THERMAL METRIC(1)	LM35				UNIT
	TO-18	TO-220	SOIC	MS8	
R _{th(j-c)} Junction-to-ambient thermal resistance	40	16	33	30	°C/W
R _{th(j-e)} Junction-to-external thermal resistance	—	—	—	—	°C/W

- For more information about traditional and new thermal metrics, see the IC Package Thermal Metrics application report, SPRAG0.
- The ambient thermal resistance information, see Table 6-4.

6.5 Electrical Characteristics: LM35A, LM35CA Limits

Unless otherwise noted, these specifications apply: -55°C < T_a < 150°C for the LM35 and LM35A, -40°C < T_a < 110°C for the LM35C and LM35CA, and 0°C < T_a < 100°C for the LM35D. V_{CC} = 5 V and I_{CC} = 50 μA, in the circuit of Full-Range Centigrade Temperature Sensor. These specifications also apply from 0°C to T_{max} in the circuit of Figure 14.

PARAMETER	TEST CONDITIONS	LM35A		LM35CA		UNIT
		TYP	MIN/MAX	TYP	MIN/MAX	
Accuracy ⁽¹⁾	T _a = 20°C	±0.2	±0.3	±0.3	±0.3	°C
	T _a = -55°C	±0.3	—	±0.3	—	
	T _a = T _{max}	±0.4	—	±0.4	—	
	T _a = T _{min}	±0.4	—	±0.4	—	
Nonlinearity ⁽²⁾	See 1.1.1, T _{min} to T _{max} , -55°C < T _a < 150°C	±0.18	—	±0.20	—	°C
	See 1.1.1, T _{min} to T _{max} , -40°C < T _a < 110°C	—	—	—	—	
Sensing gain (average slope)	T _a = 20°C	10	9.9	10	9.9	mV/°C
	-40°C < T _a < 100°C	10	10.1	10	10.1	
Load regulation ⁽³⁾ (V _{CC} < 4 mA)	T _a = 20°C	±0.4	—	±0.4	—	mV/mA
	See 1.1.1, T _{min} to T _{max} , -55°C < T _a < 150°C	±0.5	—	±0.5	—	
Line regulation ⁽⁴⁾	T _a = 20°C	±0.01	±0.02	±0.01	±0.02	mV/V
	4 V < V _{CC} < 30 V, -40°C < T _a < 100°C	±0.02	—	±0.1	—	
Common-mode reject ⁽⁵⁾	V _{CC} = 5 V, 20°C	50	37	50	37	μA
	V _{CC} = 5 V, -40°C < T _a < 100°C	40	—	40	—	
Change of output current ⁽⁶⁾	4 V < V _{CC} < 30 V, -40°C < T _a < 100°C	0.2	—	0.2	—	μA
	4 V < V _{CC} < 30 V, -55°C < T _a < 150°C	0.3	—	0.3	—	
Temperature coefficient of output current	-40°C < T _a < 100°C	0.38	—	0.3	—	μA/°C
Minimum temperature for safe enclosure	In circuit of Figure 14, V _{CC} = 0	1.0	—	1.0	—	°C
Long-term stability	T _a = T _{max} , for 1000 hours	±0.08	—	±0.08	—	%

- Accuracy is defined as the error between the output voltage and 10-mV/°C times the sense temperature of the device, at specified conditions of voltage, current, and temperature (expressed in °C).
- Nonlinearity is defined as the deviation of the output-voltage-versus-temperature curve from the best-fit straight line, over the rated temperature range of the device.
- Regulation is measured at constant ambient temperature, using pulse loading with a one duty cycle. Changes in output due to loading effects can be computed by multiplying the internal dissipation by the thermal resistance.
- Common-mode reject is defined as the ratio of the change in output current to the change in input current, at the rated temperature.
- Line regulation is defined as the ratio of the change in output current to the change in input current, at the rated temperature.
- Statement correct as defined in the circuit of Figure 14.

6.6 Electrical Characteristics: LM35C, LM35CA

Unless otherwise noted, these specifications apply: -40°C < T_a < 110°C for the LM35C and LM35CA, and -55°C < T_a < 150°C for the LM35D and LM35CA. V_{CC} = 5 V and I_{CC} = 50 μA, in the circuit of Full-Range Centigrade Temperature Sensor. These specifications also apply from 0°C to T_{max} in the circuit of Figure 14.

PARAMETER	TEST CONDITIONS	LM35C		LM35CA		UNIT
		MIN	TYP	MAX	TYP	
Accuracy ⁽¹⁾	T _a = 20°C	—	±0.2	—	±0.2	°C
	Tested Load ⁽²⁾	—	—	—	—	
	Design Load ⁽³⁾	—	—	—	—	
	—	—	—	—	—	
Nonlinearity ⁽²⁾	T _a = -40°C	—	—	—	—	°C
	Tested Load ⁽²⁾	—	—	—	—	
	Design Load ⁽³⁾	—	—	—	—	
	—	—	—	—	—	
Sensing gain (average slope)	T _a = 20°C	—	10	—	10	mV/°C
	-40°C < T _a < 100°C	—	10	—	10	
Line regulation ⁽⁴⁾ (V _{CC} < 4 mA)	T _a = 20°C	—	±0.4	—	±0.4	mV/mA
	Tested Load ⁽²⁾	—	—	—	—	
Line regulation ⁽⁴⁾	T _a = 20°C	—	±0.01	—	±0.01	mV/V
	4 V < V _{CC} < 30 V, -40°C < T _a < 100°C	—	±0.02	—	±0.02	

- Accuracy is defined as the error between the output voltage and 10-mV/°C times the sense temperature of the device, at specified conditions of voltage, current, and temperature (expressed in °C).
- Tested Load is measured and 100% tested in production.
- Design Load is measured but not 100% tested in production. These limits are not used to calculate shipping quality levels.
- Nonlinearity is defined as the deviation of the output-voltage-versus-temperature curve from the best-fit straight line, over the rated temperature range of the device.
- Regulation is measured at constant ambient temperature, using pulse loading with a one duty cycle. Changes in output due to loading effects can be computed by multiplying the internal dissipation by the thermal resistance.



USER'S GUIDE



Vaisala BAROCAP[®] Barometer PTB110 Series



- Several pressure ranges
- Accuracy ± 0.3 hPa at $+20$ °C
- Long-term stability ± 0.1 hPa/year
- On/off control with external trigger
- Output voltage 0 ... 2.5 or 0 ... 5 VDC, frequency output
- Current consumption less than 4 mA
- Mountable on a (35 mm wide) DIN rail
- NIST traceable (certificate included)
- BAROCAP[®] sensor

www.vaisala.com

M210830EN-A

PRODUCT DESCRIPTION

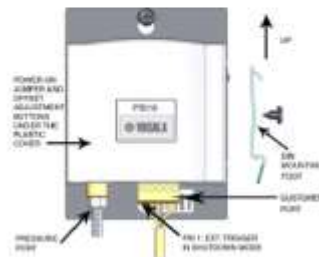
The PTB110 barometer is a micro controller based barometer including a voltage or frequency output. The barometer can be supplied with several pressure ranges. The output of the barometer is a calibrated barometric pressure reading.

The barometer uses the Vaisala BAROCAP[®] Sensor, a silicon capacitive sensor developed by Vaisala for barometric pressure measurement applications. The BAROCAP[®] sensor is especially designed for accurate and stable measurement of barometric pressure.

INSTALLATION

The PTB110 barometer is intended to be installed indoors. Installing outdoors requires a protecting enclosure. A DIN rail mounting option enables the mounting of the barometer on a 35 mm wide standard DIN mounting rail.

The barometer should be installed in a vertical position with the connectors pointing downwards to prevent accumulation of condensed water.



OPERATING MODES

The PTB110 barometer has two operating modes, the normal and the shutdown mode. The factory setting is the normal mode.

Normal Mode

- The device is in the normal mode when the power on jumper is connected (see figure on the following page).
- In the normal mode the barometer measures continuously when powered-up.

Shutdown Mode

- The device is in the shutdown mode when the power on jumper is not connected.
- In the shutdown mode, the barometer can be turned on or off by switching the pin 1. The pin 1 is located at the customer port, on the left edge of the screw terminal.

NOTE The other jumpers inside the barometer are set at the factory and they must not be touched.

ELECTRICAL CONNECTIONS

The PTB110 barometer contains a screw terminal block located at the customer port. The screw terminal includes the electrical input/output pins presented in the table below:

Pin in screw terminal	Description/Value
Pin 1 - EXT_TRIG	External trigger input Pin 1 is used as a power on/off switch in shutdown mode as follows: Power off 0 VDC Power on 5 VDC
Pin 2 - AGND	Analog ground
Pin 3 - GND	Ground
Pin 4 - SUPPLY	Supply voltage
Pin 5 - VOUT/FOUT	Voltage output/ Frequency output

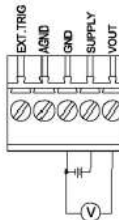
In the normal mode no connection to the Pin 1 EXT_TRIG is recommended.

The barometer is protected against a reverse operating voltage.

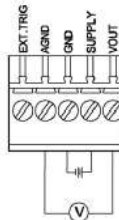
Both grounds (AGND and GND) are in the same electrical potential in the barometer. Both two-wire and four-wire connections can be used. However, it is recommended to use the four-wire connection, especially if the signal wires are long.

The connections can be made as illustrated below.

THREE WIRE CONNECTION



FOUR WIRE CONNECTION



READING THE OUTPUT

The barometric pressure (P) can be calculated from the measured output voltage (U_{out}) using a simple equation.

$$P = P_{low} + \frac{P_{range}}{U_{range}} \cdot U_{out}$$

where:

- P_{low} = Lower limit of the pressure range [hPa]
- P_{range} = Pressure full range [hPa]
- U_{range} = Voltage full range [V]
- U_{out} = Measured output voltage [V]

Example

Pressure range 500...1100 hPa
Voltage output 0...5 V
Measured output voltage 4 V

$$P = 500 \text{ hPa} + \frac{(1100 - 500) \text{ hPa}}{5 \text{ V}} \cdot 4 \text{ V} = 980 \text{ hPa}$$

NOTE The low end of the output voltage range of the barometer saturates at about 50 mV.

In the frequency output 1 hPa equals 1 Hz.

www.vaisala.com

M210830EN-A

INSERTING AND REMOVING THE COVER

The adjust buttons and the power on jumper are located inside the barometer. In order to adjust the measurement, the plastic cover of the barometer must be removed.

For safety reasons, turn off the power when opening the cover. You can power off the device by pulling out the connector from the customer port. Correspondingly, you can power on the device by plugging the connector back into the customer port.

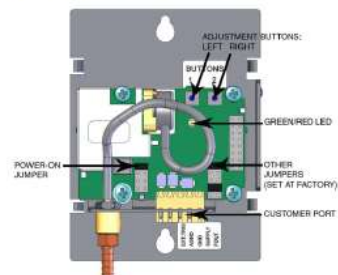
Removing the Cover

Stick a flat-end screwdriver between the cover and the metal mounting plate. As you press the tool slightly, the cover will open up.

Inserting the Cover

Place the short and solid side of the cover against the left edge of the metal plate. Ensure that the metal clamps slide into the hollows in the cover. Then press the cover against the metal plate until it clicks in place.

INNER STRUCTURE OF THE BAROMETER



ADJUSTMENT AND CALIBRATION

Calibration of the PTB110 series barometers is NIST traceable and the barometers are supplied with a NIST traceable calibration certificate.

There are two push buttons available for the offset fine adjustment inside the barometer (see the figure on the previous page). The adjustment step is 0.05 hPa.

OPERATING THE BUTTONS

Restoring Adjustments

To restore the adjustments, press and hold down the left button while switching on the barometer. After releasing the button, a green LED starts flashing.

When the factory adjustments are in use, the green LED flashes twice. When the user adjustments are in use, the green LED flashes three times.

Now you can change the factory adjustments to user adjustments or vice versa by pressing the left button.

Return to the normal operating mode by switching the power off and on in sequence.

Using Analog Output Test Mode

To activate the test mode, press and hold down the right button while switching on the barometer.

The function forces the voltage or frequency output to 50% of the scale. As an indication of the test mode, the red LED is lit.

Return to the normal operating mode by switching the power off and on in sequence.

Offset Correction

To activate the offset correction mode, press and hold down both buttons switching on the barometer.

The green and red LEDs are lit. Now you can adjust the offset correction upwards or downwards.

- Each time when pressing the left button, the offset goes down by one step (5 Pa), and the green LED flashes once.
- Each time when pressing the right button, the offset goes up by one step (5 Pa), and the red LED flashes once.

Return to the normal operating mode by switching the power off and on in sequence.



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**



**DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS
PARA EL APRENDIZAJE Y LA INVESTIGACIÓN**

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 05 / 04 /2020

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)

Nombres – Apellidos: José Luis Darquea Darquea

INFORMACIÓN INSTITUCIONAL

Facultad: Facultad de Informática y Electrónica

Carrera: Ingeniería Electrónica Control y Redes Industriales

Título a optar: Ingeniero Electrónica Control y Redes Industriales

f. Analista de Biblioteca responsable: Lic. Luis Caminos Vargas Mgs.



0002-DBRAI-UPT-2020