



Universidad de Cuenca

Facultad de Ingeniería

Escuela de Electrónica y Telecomunicaciones

Diseño e implementación de un
dispositivo para la adquisición de datos
meteorológicos y conectividad IP que se
integre con la red de datos de SENAGUA
en la cuenca del río Santa Bárbara

TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES

Director :

Ing. Remigio Clemente Guevara Baculima

Autores :

Rubén Danilo Mejía Garcés

Cuenca - Ecuador

2016

Resumen

En la cuenca del río Santa Bárbara, SENAGUA tiene en funcionamiento un conjunto de estaciones meteorológicas automáticas para el estudio del clima, que cuentan con un sistema de telemetría. Al ser estos equipos importados, da como consecuencia elevados costos en su instalación, ya que se necesita actualizar y buscar la compatibilidad de los sensores con el sistema de adquisición de datos.

Por esta razón, el objetivo de este proyecto es diseñar e implementar un sistema de adquisición de datos meteorológicos automático, basado en estándares internacionales tales como OMM, ASTM y otros, que tenga un funcionamiento similar al de las estaciones actuales. Para el desarrollo del prototipo del sistema se ha utilizado ingeniería inversa, la instrumentación de los sensores, así como los criterios de tropicalización para la exposición a ambientes adversos, utilizando tres plataformas diferentes: Microcontrolador PIC, Arduino y Raspberry PI.

Las diferentes arquitecturas presentadas se han elegido acorde a tres parámetros de análisis para sistemas embebidos. En primer lugar, el análisis de costos permite comparar los gastos que se realizarían al colocar una estación meteorológica Campbell Scientific, actualmente funcionando en la red de SENAGUA, con respecto a cada una de las plataformas en las que se ha desarrollado. En segundo lugar, el análisis de consumo energético determina el número de paneles necesarios para alimentar el sistema. En tercer lugar, el análisis de la complejidad computacional permite establecer cuán difícil es implementar los algoritmos en cada una de las plataformas.

Como resultado se obtiene la comparativa de las tres diferentes arquitecturas, estableciendo una estación meteorológica de menor costo, bajo consumo energético y mínima complejidad computacional, siendo la plataforma basada en Microcontrolador PIC, aquella que presenta un mejor rendimiento en base a los parámetros de análisis.

Palabras claves : Meteorología, sistema embebido, sensor, procesamiento, adquisición de datos, comunicación TCP/IP, almacenamiento masivo. .



Abstract

In the Santa Barbara river basin, SENAGUA has in place a set of automatic weather stations for the climate study, which largely have a telemetry system. These are imported equipments, so installation is expensive, since the need of updates and to search the compatibility of sensors with the data acquisition system.

For this reason, the aim of this project is to design and implement a system of automatic meteorological data acquisition, based on international standards such as *World Meteorological Organization (WMO)*, ASTM and others, which operates similar to current operating stations. For the development of the prototype system, it has been used reverse engineering, instrumentation of the sensors and tropicalisation criteria for exposure to adverse environments, using three different platforms: PIC microcontroller, Arduino and Raspberry PI.

The different architectures already submitted have been chosen according to three parameters of analysis for embedded systems. First, the cost analysis allows you to compare the costs that would be made by placing a Campbell Scientific weather station, currently operating in network SENAGUA with respect to each of the platforms on which the equipment has developed. Secondly, energy consumption analysis determines the number of solar panels required to power the system. In third place, the computational complexity establishes the difficulty to implement algorithms required of each platform used.

As a result the comparison of three different architectures is obtained, establishing a weather station with lower cost, lower energy consumption and lower computational complexity. The PIC microcontroller platform is the one that presents better performance based on the analysis parameters.

Keywords : Meteorology, embedded system, sensors, processing, data acquisition, TCP/IP communication, mass storage.



UNIVERSIDAD DE CUENCA
desde 1867



Índice general

Resumen	III
Abstract	V
Índice general	VII
Índice de figuras	XI
Índice de tablas	XIII
	XV
	XVII
Dedicatoria	XIX
Agradecimientos	XXI
Abreviaciones y Acrónimos	XXIII
1. Introducción	1
1.1. Introducción	1
1.2. Justificación	2
1.3. Objetivos	3
1.3.1. Objetivo General	3
1.3.2. Objetivos Específicos	3
1.4. Alcance	4
2. Tecnologías de sistemas embebidos	5
2.1. Introducción	5



2.2.	Normas internacionales para sistemas de adquisición de datos	5
2.3.	Sistema de adquisición de datos	7
2.4.	Elementos y características principales	7
2.4.1.	Sensores electrónicos para la medición de las variables meteorológicas	9
2.4.2.	Sistemas embebidos	12
2.5.	Microcomputadoras y microcontroladores	13
2.5.1.	Introducción	13
2.5.2.	Elementos del microcontrolador	15
2.5.3.	Protocolos de comunicación	17
2.6.	Arduino	18
2.6.1.	Introducción	18
2.6.2.	Arquitectura del microcontrolador ATMEL	19
2.6.3.	Sistema de memoria	20
2.6.4.	Elementos de la tarjeta Arduino	21
2.6.5.	Arduino Mega 2560	22
2.7.	Raspberry PI	25
2.7.1.	Introducción	25
2.7.2.	Elementos de la Raspberry PI	25
2.7.3.	Características técnicas de la Raspberry PI	29
2.7.4.	Sistema operativo para el minicomputador	29
2.8.	<i>Convertidor Analógico Digital (ADC)</i>	31
2.8.1.	Propiedades básicas	31
2.8.2.	Aliasing	32
2.8.3.	ADC MCP3550	33
2.9.	Temporización de Datos	36
2.10.	<i>Protocolo de Control de Transmisión/Protocolo de Internet (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) (TCP/IP)</i>	36

3. Descripción y evaluación de los dispositivos de campo instalados por SENAGUA 39

3.1.	Introducción	39
3.2.	Estaciones meteorológicas	39
3.2.1.	Clasificación de las estaciones meteorológicas	40
3.2.2.	Entes reguladores para estaciones meteorológicas	41
3.3.	Variables meteorológicas	42



3.4. Registrador de datos o Datalogger	44
3.5. Temperatura	44
3.6. Humedad	45
3.7. Viento	46
3.8. Precipitación	47
3.9. Radiación Solar	48
3.10. Presión Atmosférica	49
4. Diseño de la arquitectura y variantes para el Sistema de Adquisición de Datos	51
4.1. Descripción del diseño para variables meteorológicas	51
4.2. Instrumentación y medición de variables meteorológicas	55
4.2.1. Sensor de Temperatura	56
4.2.2. Sensor de Humedad	58
4.2.3. Sensor de Presión Atmosférica	60
4.2.4. Sensor de Pluviosidad	62
4.2.5. Sensor de Viento	63
4.2.6. Sensor de Radiación Solar	68
4.3. Propuesta y diseño de la arquitectura para la adquisición de datos . . .	70
4.3.1. Diseño de la placa esclavo para la adquisición y procesamiento de datos	70
4.3.2. Alimentación	71
4.3.3. Acondicionamiento de señal	71
4.3.4. Registro de datos a tiempo real	73
4.3.5. Banco de memorias seriales para almacenamiento	73
4.3.6. Captura y procesamiento de datos	73
4.3.7. Diseño de la placa maestro para la gestión y registro de la información	74
4.3.8. Comunicación de dispositivos maestro esclavo	75
4.3.9. Almacenamiento masivo de la información	75
4.3.10. Planteamiento de diseños alternos	76
4.3.11. Planteamiento de diseños para la Arduino Mega 2560	77
4.3.12. Planteamiento de diseños para la Raspberry PI Modelo B	78
4.4. Criterio de tropicalización	88
4.5. Análisis de escalabilidad, disponibilidad y robustez de los diseños	89
4.5.1. Escalabilidad	89



4.5.2. Disponibilidad	90
5. Análisis económico y consumo energético	93
5.1. Costo actual de recopilación de datos	93
5.1.1. Costo de diseños implementados	93
5.1.2. Placa esclavo: Captura y procesamiento de datos	93
5.1.3. Placa maestro con Microcontrolador PIC	95
5.1.4. Placa maestro con Arduino Mega 2560	95
5.1.5. Placa maestro con Raspberry PI Modelo B+	97
5.2. Relación costo/beneficio	98
5.2.1. Identificación y cálculo de costos	98
5.2.2. Identificación y cálculo de beneficios	99
5.3. Análisis de consumo de energía de equipos	100
5.3.1. Análisis de la carga	101
5.3.2. Paneles solares	102
5.3.3. Sistema de acumulación	102
6. Conclusiones y Recomendaciones	105
6.1. Conclusiones	105
6.2. Recomendaciones	108
6.3. Trabajos a Futuro	108
A. Especificaciones técnicas, montaje, conexiones del cable y accesorios para los sensores SIAP+MICROS	111
A.1. Sensor de temperatura y humedad relativa	112
A.2. Sensor de presión o barómetro	113
A.3. Sensor de precipitación pluviómetro	114
A.4. Sensor de dirección y velocidad del viento	115
A.5. Sensor de radiación solar neta	116
B. Diseños esquemáticos y PCB para la Estación Meteorológica Automática	117
B.1. Diseño esquemático para la tarjeta esclavo	118
B.2. Diseño del PCB para la tarjeta esclavo	119
B.3. Diseño esquemático para la tarjeta maestro	120
B.4. Diseño del PCB para la tarjeta maestro	121
B.5. Diseño del PCB para el adaptador de la tarjeta Ethernet	121



Bibliografía

123



UNIVERSIDAD DE CUENCA
desde 1867



UNIVERSIDAD DE CUENCA
desde 1867



Índice de figuras

1.1. Diagrama esquemático general del sistema automático de adquisición de datos	3
2.1. Elementos para la adquisición de datos [1]	8
2.2. Elementos para la adquisición de datos [1]	10
2.3. Estructura de un microcomputador[2].	14
2.4. Estructura de un microcontrolador[2].	14
2.5. Modelos de las diferentes tarjetas Arduino[3].	19
2.6. Diagrama de bloques correspondiente a un microcontrolador AVR.[4]. .	20
2.7. Arduino Mega 2560.[3].	23
2.8. Esquema del minicomputador Raspberry PI Modelo B[5].	25
2.9. Asignación de pines (<i>General Purpose Input Output</i>) <i>Puerto de Entrada y Salida de Propósito General</i> (GPIO) en la Raspberry PI Modelo B, rev 1 y Modelo B, rev 2[6].	27
2.10. Ejemplo de señal muestreada a distintas frecuencias	33
2.11. Conversor Sigma-Delta de Primer Orden[7].	34
2.12. Diagrama de bloques funcionales del MCP3550.	35
2.13. Modelos de Red[8].	37
3.1. Principales componentes de una Estación Meteorológica Automática[9].	43
4.1. Elementos que conforman la estación SIAP+MICROS[10].	52
4.2. Datalogger Campbell para la estación ubicada en el sector de Uchucay. .	53
4.3. Diagrama de bloques correspondiente al diseño del <i>Sistema de Adquisición de Datos</i> (SAD).	54
4.4. Aumento de la resistencia de acuerdo a la temperatura.	56
4.5. Sensor de Temperatura y Humedad Relativa.	57
4.6. Diagrama de pines para la conexión del sensor de Temperatura[10]. . . .	58



4.7. Transductor de humedad capacitivo modelo t026 de la marca SIAP+MICROS.	59
4.8. Diagrama de pines para la conexión del sensor de Humedad Relativa[10].	60
4.9. Sensor de presión atmosférica SIAP+MICROS.	61
4.10. Diagrama de pines para la conexión del Barómetro[10].	62
4.11. Sensor de pluviosidad SIAP+MICROS.	63
4.12. Diagrama de pines para la conexión del sensor de Pluviosidad[10].	64
4.13. Pluviómetro de balancín marca SIAP+MICROS.	64
4.14. Sensor de Dirección y Velocidad del Viento marca SIAP+MICROS[10].	65
4.15. Diagrama de pines para la conexión del sensor de Viento [10].	66
4.16. Circuito de acondicionamiento para la dirección del viento.	67
4.17. Sensor de radiación solar SIAP+MICROS.	68
4.18. Termopilas para la medición de la radiación solar neta y reflejada.	69
4.19. Diagrama de pines para la conexión del Piranómetro[10].	70
4.20. Diseño del PCB para la placa esclavo.	71
4.21. Circuito de alimentación de la placa esclavo.	71
4.22. Conversor MCP3550 de 22 bits para señales analógicas.	72
4.23. Acondicionamiento de la señal discreta mediante saturación y filtrado del ruido.	72
4.24. Circuito de acondicionamiento y alimentación para señales discretas.	82
4.25. Diagrama esquemático del reloj DS1307.	83
4.26. Cabecera estándar para las memorias seriales 24LC512.	83
4.27. Banco de memorias seriales.	83
4.28. Placa esclavo para la captura y procesamiento de datos.	84
4.29. Diseño PCB del dispositivo maestro.	84
4.30. Placa maestro para la gestión de la información.	85
4.31. Esquema de funcionamiento del protocolo RS485.	85
4.32. Trama de datos almacenada en la memoria <i>Secure Digital (SD)</i> .	86
4.33. Conjunto de datos almacenados en un archivo de texto.	86
4.34. Arduino Mega 2560 y módulo para tarjeta micro <i>SD</i> y comunicación Ethernet.	87
4.35. Material sintético para la tropicalización en los sensores.	88
5.1. Esquema de un sistema fotovoltaico aislado.	100



Índice de tablas

2.1. Características básicas de la placa Arduino Mega 2560[4].	23
2.2. Características técnicas de la familia de microcomputadores Raspberry PI[6][5].	30
3.1. Características de la Temperatura[11][9].	45
3.2. Características de la Humedad[11][9].	46
3.3. Características de la Velocidad de Viento[11][9].	47
3.4. Características de la Dirección de Viento[11][9].	47
3.5. Características de la Precipitación[11][9].	48
3.6. Características de la Radiación Solar[11][9].	49
3.7. Características de la Presión Atmosférica[11][9].	50
4.1. Especificaciones técnicas del sensor de Temperatura.	57
4.2. Especificaciones técnicas del sensor de Humedad Relativa.	59
4.3. Especificaciones técnicas del sensor de Presión Atmosférica.	61
4.4. Especificaciones técnicas del sensor de Pluviosidad.	63
4.5. Escala de Beafort para la medición del viento[12].	65
4.6. Especificaciones técnicas del anemómetro.	66
4.7. Especificaciones técnicas de la veleta.	67
4.8. Especificaciones técnicas del sensor de Radiación Solar.	69
4.9. Muestreo de las variables meteorológicas disponibles	75
4.10. Librerías empleadas y descripción para Arduino.	78
4.11. Categorías de los sistemas en cuanto a disponibilidad.[1]	91
4.12. Valores de fallos para las diferentes plataformas a tiempo real.	91
5.1. Costes de la Estación Meteorológica Campbell Scientific[13].	94
5.2. Costos del dispositivo esclavo para el registro de datos.	95
5.3. Costos de los sensores utilizados en el SAD.	96



5.4. Costos de la placa maestro con Microcontrolador PIC.	96
5.5. Costos de la placa maestro con Arduino Mega 2560.	97
5.6. Costos de la placa maestro con Raspberry PI Modelo B+.	97
5.7. Análisis de costos directos e indirectos.	99
5.8. Análisis de beneficios económicos.	100
5.9. Consumo de corriente para las tarjetas electrónicas maestro y esclavo individuales.	103
5.10. Análisis de corriente para una placa maestro y un conjunto de 6 sensores.	103
5.11. Análisis energético para determinar el número de paneles solares.	104
6.1. Valores establecidos para Variables Meteorológicas.	106
6.2. Análisis comparativo de las diferentes plataformas.	107



Yo, Rubén Danilo Mejía Garcés, autor de la tesis “Diseño e implementación de un dispositivo para la adquisición de datos meteorológicos y conectividad IP que se integre con la red de datos de SENAGUA en la cuenca del río Santa Bárbara.”, reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, 14 de Julio de 2016

Rubén Danilo Mejía Garcés

010562110-6



UNIVERSIDAD DE CUENCA
desde 1867



Yo, Rubén Danilo Mejía Garcés, autor de la tesis “Diseño e implementación de un dispositivo para la adquisición de datos meteorológicos y conectividad IP que se integre con la red de datos de SENAGUA en la cuenca del río Santa Bárbara.”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 14 de Julio de 2016

Rubén Danilo Mejía Garcés

010562110-6



UNIVERSIDAD DE CUENCA
desde 1867



Dedicatoria

Dedico esta tesis a mi familia, en especial a mis padres Rubén y Marina por su gran esfuerzo y confianza incondicional, en su anhelo de convertirme en un hombre de bien, a mis hermanos Adrián y Kerlyn por su afecto y comprensión.

Rubén Danilo

UNIVERSIDAD DE CUENCA
desde 1867



UNIVERSIDAD DE CUENCA
desde 1867



Agradecimientos

Agradezco a Dios por haberme dado la sabiduría durante toda mi carrera, a la Red Sísmica del Austro por brindarme la oportunidad de contribuir con este proyecto; su experiencia en equipos meteorológicos y el apoyo económico. Agradezco a todos los profesores y compañeros por su tiempo y consejos, de manera especial al Ing. Remigio Guevara, Ing. Iván Palacios e Ing. Sebastián Abril por su constante apoyo para la culminación de este proyecto. Agradezco a mi familia por el ánimo y aliento recibido en el transcurso de todos estos años. A mis amigos que hicieron de esta etapa un cúmulo de buenos recuerdos y por el apoyo mutuo para culminar mi carrera profesional.

Rubén Danilo

UNIVERSIDAD DE CUENCA
desde 1867



UNIVERSIDAD DE CUENCA
desde 1867



Abreviaciones y Acrónimos

ADC *Convertidor Analógico Digital*. 8, 13, 34–39, 56, 57, 62–64, 69, 84, 113

ASTM *Sociedad Americana para Pruebas y Materiales*. 8, 123

CMOS (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*) *Semiconductor Complementario de Óxidos Metálicos*. 29

CPU *Unidad Central de Procesamiento*. 31, 33

DC *Corriente Directa*. 30, 35, 38, 83

DIL *Dual In Line Package, Empaque Dual en Línea*. 29

DSI (*Display Serial Interface*) *Interfaz Serial para Visualizadores*. 28

DSP *Procesador Digital de Señales*. 33

EMA *Estación Meteorológica Automática*. 58, 125, 126

FIRMWARE (*Programa almacenado en una memoria ROM, encargado de establecer la lógica de más bajo nivel que controla los circuitos electrónicos de un dispositivo*). 25, 29

GNU *Sistema Operativo de tipo Unix (que respeta la libertad del usuario, está compuesto en su totalidad por software libre y es auspiciado por la “Free Software Foundation”)*. 21, 31, 32, 125

GPIO (*General Purpose Input Output*) *Puerto de Entrada y Salida de Propósito General*. 29–33, 93, 94, 125

GPU *Unidad de Procesamiento Gráfico*. 31, 33

HDMI *Interfaz Multimedia de Alta Definición*. 31, 33, 93, 125

I²C *Circuitos Inter-Integrados (Es un bus de comunicaciones en serie)*. 20, 26, 29, 31, 39, 85–88, 94, 125

LCD (*Liquid Cristal Display*) *Pantalla de Cristal Líquido*. 28, 33



LED *Diodo Emisor de Luz*. [24](#), [25](#), [29](#)

MMC *Multi Media Card*. [32](#), [33](#), [88](#), [93](#)

OMM *Organización Meteorológica Mundial*. [8](#), [43](#), [44](#), [49](#), [50](#), [123](#)

PWM (*Pulse Width Modulation*) *Modulación por Anchura de Pulsos*. [22](#), [25](#), [27](#), [29](#), [125](#)

RAM *Memoria de Acceso Aleatorio*. [18](#), [28](#), [31](#), [33](#), [92](#), [125](#)

RTD *Resistive Temperature Detector*. [61](#)

RXD *Received Data, Datos Recibidos*. [20](#), [24](#), [25](#), [29](#), [91](#), [93](#), [95](#)

SAD *Sistema de Adquisición de Datos*. [9–13](#), [55](#), [59](#), [61](#), [91](#), [107](#), [108](#), [114](#)

SD *Secure Digital*. [13](#), [30](#), [32](#), [33](#), [58](#), [88](#), [89](#), [91–93](#), [104](#), [106](#), [114](#), [115](#), [125](#)

SDRAM (*Synchronous Dynamic Random Access Memory*) *Memoria Sincrónica de Acceso Aleatorio*. [31](#), [33](#)

SENAGUA *Secretaría del Agua*. [1–4](#), [83](#), [89](#)

SoC *System on Chip*. [28](#), [29](#), [31](#), [33](#)

SPI *Interfaz Periférica Serial (Es un bus de comunicación serial síncrona)*. [20](#), [26](#), [29](#), [31](#), [38](#), [84](#), [87](#), [88](#), [92–94](#), [125](#)

TCP/IP *Protocolo de Control de Transmisión/Protocolo de Internet (Transmission Control Protocol/Internet Protocol)*. [39–42](#), [94](#), [123](#), [125](#)

TTL (*Transistor-Transistor Logic*) *Lógica de Transistor a Transistor*. [25](#), [29](#)

TXD (*Transmitted Data*) *Datos Transmitidos*. [20](#), [24](#), [25](#), [29](#), [91](#), [93](#), [95](#)

UART *Universal Synchronous and Asynchronous Serial Receiver and Transmitter*. [20](#), [31](#), [88](#), [94](#), [125](#)

USB *Universal Serial Bus*. [23–27](#), [30](#), [31](#), [33](#), [39](#), [88](#), [92](#), [94](#), [125](#)



Capítulo 1

Introducción

1.1. Introducción

En los últimos años, el desarrollo de nuevas tecnologías y dispositivos electrónicos han facilitado la adquisición de datos en el campo de la meteorología. A la vez, esto ha reducido su consumo de energía, permitiendo una mayor autonomía y su consecuente reducción de costos de operación.

En Ecuador existen diversos conjuntos de estaciones meteorológicas para el estudio del clima, que con el adecuado procesamiento de los datos adquiridos permiten impulsar el desarrollo de actividades como la agricultura, ganadería, transporte, salud, prevención de desastres, cambio climático global, entre otras.

La *Secretaría del Agua (SENAGUA)*, cuenta con estaciones meteorológicas para el monitoreo de diversas variables climatológicas. Actualmente, **SENAGUA** tiene en funcionamiento aproximadamente 25 estaciones en su mayoría cuentan con un sistema de telemetría, que brinda información a tiempo real, pero el interés del presente trabajo se centra en aquellas que no lo poseen y poder tener acceso a éstas, bajo las mismas condiciones.

Las estaciones meteorológicas son importadas, por lo que es necesario diseñar e implementar un sistema de adquisición de datos propio, robusto y eficiente; capaz de recopilar información de manera estándar. Este permitirá ampliar el uso de las estaciones a costos inferiores y obtener compatibilidad con el sistema actual. Se pretende utilizar ingeniería inversa para su desarrollo, dando lugar a un sistema de telemetría con similares prestaciones a las estaciones existentes. Además, es importante que el sistema

funcione correctamente ante las condiciones ambientales y sea evaluada bajo las mejores prestaciones posibles, por lo tanto se ha considerado las siguientes características:

- Consumo energético.
- Costo económico.
- Complejidad computacional.

1.2. Justificación

Las estaciones de [SENAGUA](#) están distribuidas en la cuenca del río Santa Bárbara en una extensa área geográfica que comprende el sector centro oriental de la provincia del Azuay. Estas estaciones cuentan con sensores de temperatura, humedad, radiación solar, viento, precipitación y otros que permiten las mediciones de las variables meteorológicas [14].

Los equipos instalados integran al sensor y una etapa de acondicionamiento de señal, con un esquema estándar de adquisición integrado principalmente por un datalogger. Por tal motivo, existe la necesidad de realizar la instrumentación de los sensores meteorológicos que permita la digitalización, almacenamiento y posterior transmisión de datos hacia el dispositivo de comunicación.

Acorde a estas necesidades se propone el diseño e implementación de dispositivos embebidos de adquisición de datos a partir de sensores meteorológicos, que se basen en tres arquitecturas tecnológicas que se imponen en el mercado. Estas contendrán un esquema que permita la conexión de cualquier tipo de sensor digital o analógico. Además, deben contar con referencia de tiempo, almacenamiento y comunicación de corto alcance, cuyas conexiones serán coordinadas y gestionadas por una unidad central de mayores prestaciones. La unidad central contara con una dirección IP, tal y como se puede observar en la Figura 1.1.

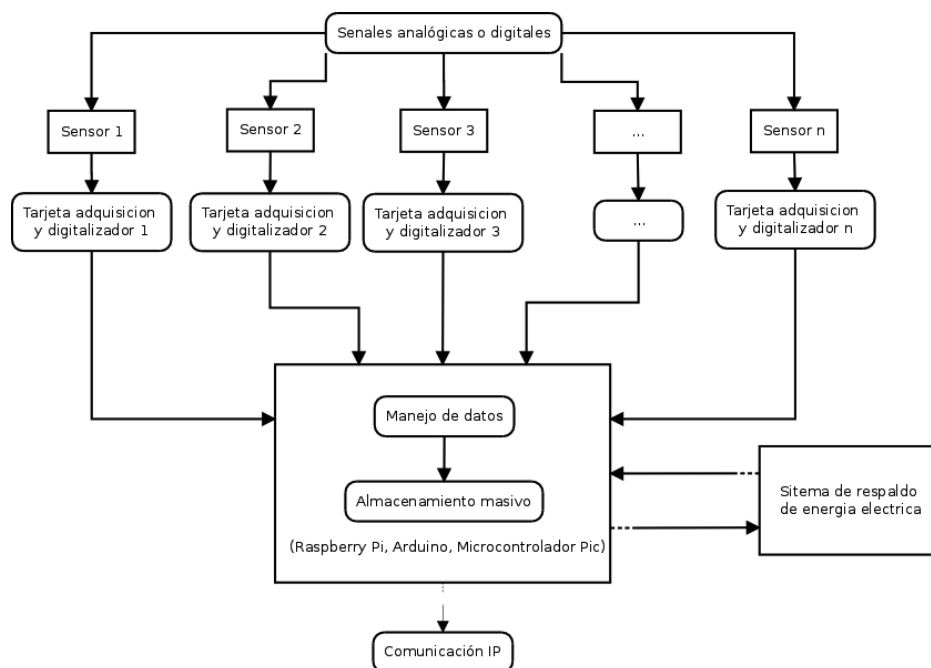


Figura 1.1: Diagrama esquemático general del sistema automático de adquisición de datos

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Diseñar y construir un equipo de almacenamiento de información meteorológica compatible con las estaciones pertenecientes a [SENAGUA](#), escogido como resultado del análisis de tres arquitecturas considerando su complejidad computacional, costos y consumo energético.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Analizar las arquitecturas de dispositivos existentes y su aplicación a una estación meteorológica.
- Analizar los diferentes transductores y equipos de adquisición de señales que posee [SENAGUA](#).
- Establecer la factibilidad de interactuar con los sistemas de discretización existentes o de implementar uno nuevo (digitalizador).

- Diseñar y construir tres circuitos diferentes en base a las arquitecturas: Raspberry PI, Arduino y Microcontrolador PIC (dispositivo de adquisición o Datalogger) con capacidad de comunicación.
- Realizar cálculos completos de los parámetros de comparación para cada uno de los dispositivos y escoger el que mejor se adapte a los requerimientos de [SENA-GUA](#).

1.4. Alcance

En primer lugar, el presente trabajo incluye el diseño e implementación de un dispositivo para la adquisición de datos en los sensores, situados en las estaciones. Estos interactúan con diferentes tipos de variables como son: la temperatura, humedad relativa, presión, pluviosidad, radiación solar, dirección y velocidad del viento, y cuyos datos serán enviados hacia un dispositivo con mayores prestaciones cada determinado tiempo.

En segunda instancia y de forma similar, se diseña e implementa el dispositivo maestro que permita emular el funcionamiento de un datalogger. La tarjeta maestro tiene como tareas la comunicación y sincronización de los dispositivos esclavos en la estación, así como el almacenamiento de datos.

Para este fin se han considerado tres diferentes tecnologías: Raspberry PI, Arduino y el Microcontrolador PIC. Cada una de estas plataformas de hardware y software ofrecen diferentes características técnicas que inciden significativamente en la adquisición y procesamiento de los datos climatológicos. También se cuenta con el análisis de aspectos como la velocidad, consumo energético y la forma en que cada plataforma maneja la información, siendo necesario considerar el comportamiento de estos dispositivos ante condiciones ambientales adversas [15].

Conforme a cada tecnología, se pretende realizar un análisis sobre las ventajas y desventajas de los esquemas resultantes teniendo como referencias: la complejidad computacional de los sistemas, los costos, el consumo energético y sobretodo la confiabilidad de los datos que son enviados por los sensores. Esto permite tener una amplia base de criterios para la selección de la solución definitiva, acorde al esquema que brinde mayores beneficios con respecto a los requerimientos necesarios en la adquisición de las variables.



Capítulo 2

Tecnologías de sistemas embebidos

2.1. Introducción

La aparición de nuevas tecnologías en la electrónica para sistemas embebidos, tanto en la adquisición de la información y la comunicación, como nuevas técnicas en el manejo de datos, ha facilitado el tratamiento de la información y consecución de resultados importantes tales como la automatización de procesos, almacenamiento, menor costo, transmisión de datos a largas distancias, entre otros. Estos avances se han extendido hacia otras ramas de la ciencia como la Meteorología, donde se hace uso de estos sistemas para obtener datos confiables y de manera automática.

También es necesario mencionar que la mayoría de las aplicaciones son posibles gracias a la disponibilidad de los sensores que convierten las magnitudes físicas en señales eléctricas para su captura, acondicionamiento, procesamiento, transmisión y almacenamiento. A continuación se detallan los conceptos a tener en cuenta para el diseño de un sistema de adquisición de datos así como un análisis de las tecnologías disponibles para implementarlo de manera adecuada.

2.2. Normas internacionales para sistemas de adquisición de datos

A principio, en el desarrollo de la Meteorología, se pudo determinar cómo los fenómenos naturales influían directamente en los cambios climáticos, el periodo de las

estaciones, el comportamiento de los vientos y lluvias, entre otros; por tal motivo, se hizo imperiosa una medición analítica y no solo empírica. De esta forma se ha procedido a desarrollar diversos métodos, herramientas y técnicas para la medición de las variables climatológicas.

Hoy en día existen organismos de regulación internacionales, que permiten obtener congruencia en la información obtenida, tales como la *Organización Meteorológica Mundial* (OMM) y *Sociedad Americana para Pruebas y Materiales* (ASTM) [12]. Según los estándares de estos organismos, las condiciones que debe tener un equipo para la correcta medición son:

- **Exposición del instrumento.** La manera en que se coloca el instrumento es importante; ya que al realizar la medición del ambiente se evita que otras características influyan en la misma. Por ejemplo, para la toma de datos respecto a la temperatura, es importante determinar el espacio físico para el sensor y que se encuentre únicamente en contacto con el aire del medio ambiente.
- **Representatividad.** Este término según el Comité de Mediciones Atmosféricas de la American Meteorology Society hace referencia a “la extensión a la que un grupo de mediciones tomadas en un dominio espacio-tiempo refleja las condiciones en el mismo sobre una escala apropiada para una aplicación particular” [12], es decir, si dicha medición es particularmente útil para el fin que se la está empleando y no para otros propósitos.
- **Registro de datos.** El uso de un estándar es una característica que permite asegurar que los registros llevados a cabo en diferentes lugares se visualicen de la misma forma. Actualmente, se ha establecido un formato en el que típicamente se captura la información y se la convierte en señales eléctricas para su posterior almacenamiento o transmisión. Una característica esencial antes de la captura de la señal es su acondicionamiento, ya que generalmente la señal se encuentra en el orden de los microvoltios (μV) por lo que se necesita amplificarla de tal manera que esta pueda ser capturada y a su vez aislarla del ruido mediante filtros. Para este fin se ha utilizado un amplificador de instrumentación que permite realizar estas dos operaciones a la vez.
- **Discretización de datos.** Dentro de este ámbito existen diferentes elementos que permiten obtener datos digitales; el principal es el **ADC**, que transforma la señal analógica en un conjunto de escalas, que representan la amplitud de la señal dentro de una escala discreta de valores.

2.3. Sistema de adquisición de datos

Un **SAD** se define como un conjunto de dispositivos que permiten obtener una determinada señal, para su procesamiento, almacenamiento y transmisión en grandes cantidades de manera automática[15].

Este tipo de dispositivos son utilizados para la captura de señales que ofrecen los diferentes sensores, obteniendo un análisis de su contenido y estableciendo un registro que permita el posterior estudio de la información para implantar un umbral ante situaciones de peligro por fenómenos meteorológicos y activar mecanismos de alerta temprana. Dependiendo del tipo de señal que se obtiene en el sistema, se puede clasificar en dos tipos:

- **Sistemas analógicos.** Dentro de estos sistemas se dan lectura únicamente a señales continuas que tienen como característica ser un conjunto de valores que se desarrollan continuamente en el tiempo.
- **Sistemas discretos.** Aquellos sistemas en donde las señales de entrada son de carácter discreto, es decir, una sucesión de valores fijos en determinados intervalos tiempo.

2.4. Elementos y características principales

Dentro del ámbito de la meteorología es de vital importancia que las mediciones como la comunicación de los equipos tengan una gran robustez para evitar pérdida de la información o la inclusión de ruido. Dependiendo de su entorno o el medio ambiente de funcionamiento se dividen en diferentes bloques como se puede observar en la Figura 2.1.

Según estas características un **SAD** se compone principalmente por:

- Elemento sensor que permite convertir los parámetros físicos en señales eléctricas medibles por el sistema de adquisición.
- Un bloque para el acondicionamiento de las señales provenientes del sensor, de tal manera que se acople a las características de entrada en la siguiente etapa.
- El bloque de adquisición, convierte las señales analógicas en datos digitales para su posterior procesamiento y almacenamiento.

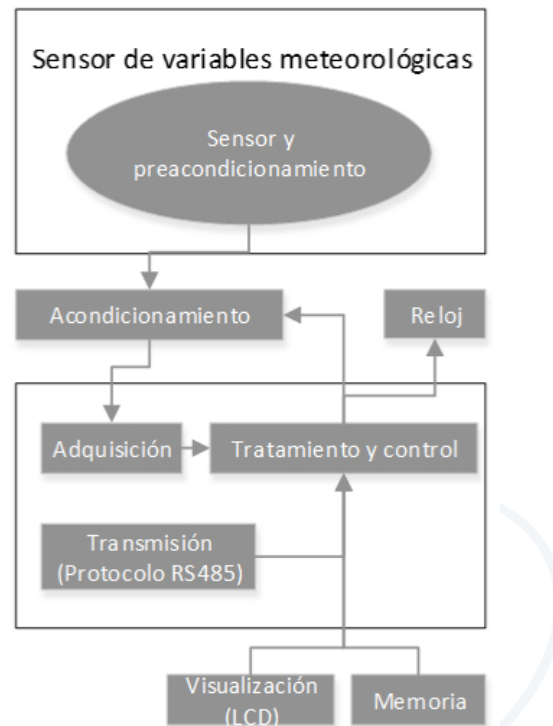


Figura 2.1: Elementos para la adquisición de datos [1]

- La etapa del tratamiento y control de los datos adquiridos, permite colocar la información en un formato estándar de manera sistematizada y ordenada. Además, esta etapa controla el manejo de otros elementos dentro del SAD como un reloj a tiempo real, memorias temporales o dispositivos de comunicación.
- Una interfaz que permita visualizar los datos adquiridos.
- El almacenamiento masivo es un factor muy importante, debido a que los SAD manejan un volumen de datos grande, por lo tanto es vital tener en cuenta la capacidad de memoria pertinente a la aplicación que se esté desarrollando.
- Un bloque permita la comunicación del SAD con un dispositivo externo, como por ejemplo un ordenador. Esta comunicación facilita la configuración del sistema, mejora la capacidad de almacenamiento y permite estudios en tiempo real.

2.4.1. Sensores electrónicos para la medición de las variables meteorológicas

Las variables meteorológicas son esencialmente variables físicas que caracterizan el estado y los fenómenos que ocurren en la atmósfera. Entre las variables más representativas se encuentran la temperatura ambiente, la presión atmosférica, la humedad relativa, las precipitaciones, la velocidad y dirección del viento [15].

El estudio de los sensores electrónicos disponibles en el mercado arrojó que la tendencia actual de los principales fabricantes es brindar sus productos con un acondicionamiento de las variables medidas que facilita su empleo en diversos sistemas de adquisición. Por lo tanto, es posible disponer de sensores meteorológicos que incorporan una etapa de acondicionamiento de fábrica.

- **Registro de datos.**

Los dos primeros elementos de la estructura de un SAD general, se integran en la mayoría de los sensores para variables meteorológicas disponibles. El resto de los elementos se ubican en el datalogger. El estudio de las prestaciones y características de los dataloggers que se encuentran en el mercado, resulta imprescindible para formar un juicio correcto del nivel tecnológico alcanzado por estos equipos[1] [16]. Entre las principales prestaciones encontradas están

- Entradas analógicas de tensión o corriente con rangos diversos.
- Un bloque para el acondicionamiento de las señales provenientes del sensor, de tal manera que se acople a las características de entrada en la siguiente etapa.
- Entradas de pulso (al menos 1).
- Entradas y salidas digitales.
- Interfaz RS232 o RS485.
- Memoria para almacenamiento de datos desde varios KB hasta algunos MB.
- Intervalos de lectura seleccionables, desde algunos segundos hasta 1 día.

El diseño propuesto debe cubrir al menos las funcionalidades básicas expuestas en los bloques de la Figura 2.2, y ser lo suficientemente versátil para adaptarse a la variedad de sensores existentes. Además, su estructura debe permitir compatibilidad con las diversas marcas de estaciones meteorológicas disponibles en el mercado.

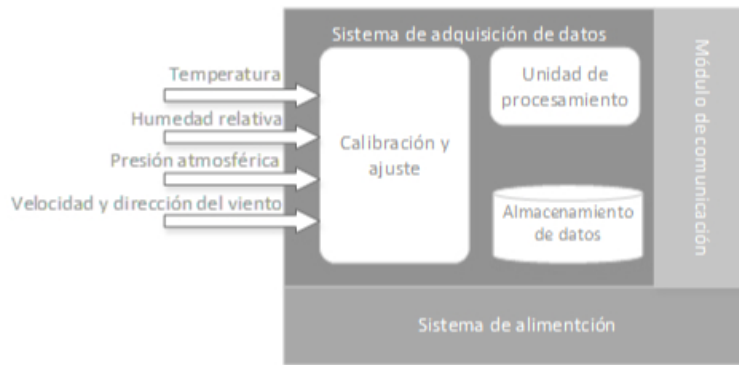


Figura 2.2: Elementos para la adquisición de datos [1]

El tipo de señal que se puede analizar en un SAD determina las características intrínsecas que debe poseer para señales tanto analógicas como digitales. En el caso de las señales analógicas, los elementos que se detallan son esenciales debido a que estas necesitan mayor precisión y tienen que ser digitalizadas. Al contrario las señales discretas poseen un pre-procesamiento, teniendo únicamente en cuenta su aislamiento al ruido como medida para capturar la información. Las señales analógicas requieren mayor complejidad para su adquisición como también mayor cantidad de elementos necesarios en el acondicionamiento [12]. De esta manera es como se ha definido algunas de las características que un SAD para propósito general debe poseer.

- **Canales de adquisición.** Estas son las vías por las cuales un SAD obtiene información del exterior. Dependiendo del tipo, aludiendo a la señal captada ya sea esta discreta o continua, pueden dividirse en canales digitales o analógicos. También es importante considerar el número de canales disponibles para la adquisición de datos, como para la comunicación de la información entre el dispositivo y el entorno (por ejemplo alguna interfaz de almacenamiento en memoria). El SAD debe contar con un número necesario de entradas analógicas y digitales que soporten la señal de un sensor, acorde a sus necesidades.
- **Autonomía.** Se refiere a la capacidad del sistema para funcionar sin la intervención del ser humano. Está determinada por factores como el consumo de energía, capacidad y límite de almacenamiento, efectividad de transmisión, capacidad de corrección de errores (propios del sistema, por ejemplo que el software caiga en un bucle infinito), etc.
- **Capacidad de almacenamiento.** La capacidad de almacenamiento se refiere

al volumen de información que un sistema puede almacenar. Generalmente los sistemas utilizan memorias de acceso secuencial, como en el SAD desarrollado en este trabajo, donde la sección de almacenamiento es preventiva, siendo utilizado primeramente como instrumento de captura y envío de información.

- **Capacidad de comunicación.** La comunicación es la capacidad de transmitir la información requerida a otros entornos, por ejemplo un archivo de texto, una memoria micro SD, un servidor de base de datos u cualquier otro sistema.

En general, un SAD captura datos y recibe instrucciones para almacenarlos, sin embargo se pretende que estas instrucciones sean invisibles para el usuario y ejecutarlas de manera continua, dando paso a un sistema en tiempo real.

El SAD debe tener la capacidad para comunicarse con otros dispositivos, es decir, utilizar un estándar para su comunicación al exterior, esto con la finalidad que otros dispositivos obtengan la información y la interpreten adecuadamente. Por ejemplo, se puede estandarizar la velocidad de transmisión de datos.

- **Capacidad de procesamiento, decisión y acción** Los SAD están diseñados exclusivamente para obtener e interpretar información del exterior que después se envía a una computadora, donde se procede a su almacenamiento y procesamiento. Debido al avance en microcontroladores y microcomputadoras, en el mismo SAD la información se procesa y con base a los resultados obtenidos, el sistema determina que acciones tomar para evitar daños, corregir errores o informar al usuario.
- **Velocidad de adquisición.** La velocidad de adquisición se refiere a la cantidad de valores fiables adquiridos en un tiempo determinado. Generalmente esta velocidad está determinada por un cristal de cuarzo que tiene una oscilación natural y es utilizada como ciclo de trabajo del sistema.
- **Resolución.** La resolución se refiere al rango de valores que el sistema puede capturar y procesar de tal manera este intervalo indica las cotas entre los que debe estar la señal de entrada para que pueda ser convertida. Las tarjetas de adquisición de datos suelen dar varias posibilidades que se pueden seleccionar por hardware o por software. El número de bits usados para representar una señal analógica determina la resolución de un ADC.
- **Costo.** El costo es muy importante, dado que es un factor crítico dentro de los proyectos para instituciones meteorológicas. El costo de la automatización de

algún sistema debe ser una inversión rentable para que se considere su implementación. Para el caso de la comunidad académica, este no deja de ser factor de gran importancia, dado que cualquiera que desee elaborar un sistema para estudiar algún fenómeno debe considerar un costo no muy elevado para poder implementarlo.

- **Tamaño físico y portabilidad.** El tamaño y la portabilidad también son muy importantes ya que deben ser desarrollados de tal manera que pueda ser transportado y utilizado en cualquier parte.
- **Tropicalización.** Dentro de la electrónica, tropicalizar un dispositivo hace referencia a la adaptación del circuito electrónico de tal manera que este no se vea afectado por condiciones externas del medio ambiente. Por ejemplo, la corrosión que deteriora la superficie de las tarjetas, se puede evitar, a través de contenedores herméticos, o en su defecto aplicar un recubrimiento de barniz, que puede lograr con toda seguridad la inhibición del efecto corrosivo, retardando su deterioro. Este conjunto de procedimientos conforman el proceso de tropicalización.

2.4.2. Sistemas embebidos

Un sistema embebido es un circuito electrónico computarizado que está diseñado para cumplir una labor específica en un producto. Las secuencias y algoritmos, residen en la memoria de una microcomputadora denominada microcontrolador. A diferencia de los sistemas computacionales de oficina y ordenadores personales, estos sistemas solucionan un problema específico y están dispersos en todos los ambientes posibles de la vida cotidiana[17].

En general, una persona está vinculado con aproximadamente 400 microcontroladores diariamente. Este valor aumenta conforme pasan los años de manera significativa, ya que los procesadores reducen su tamaño, consumen menos energía y su costo disminuye gracias a la fabricación en escala. Estos aspectos que ayudan a reemplazar en mayor proporción los sistemas lógicos, los equipos electromecánicos y en el futuro, se pueden incorporar en los equipos desechables[2].

2.5. Microcomputadoras y microcontroladores

2.5.1. Introducción

El desarrollo de los equipos computacionales han marcado un sin número de avances en las áreas de tecnología, que han permitido el desarrollo acelerado de la sociedad. La gran parte de tareas que realiza una computadora las puede realizar un ser humano, la diferencia radica en la velocidad y la exactitud con que realizan dicha tarea. Esto se da a pesar de que las computadoras realizan las operaciones paso a paso para realizar un cálculo de la manera correcta.

A partir de esta premisa se define que “una computadora es un sistema físico que realiza operaciones aritméticas, manipula información (generalmente en forma binaria) y toma decisiones”[2].

Los tipos de computadoras existentes dependen básicamente del criterio con el cual se les decida clasificar. Estas difieren en su tamaño físico, velocidad de operación, capacidad de memoria y de procesamiento, además de otras características. Si se clasifican por su tamaño físico, se tienen tres tipos: microcomputadoras, minicomputadoras y sistemas grandes de computo (mainframes)[18].

Las microcomputadoras son los dispositivos más pequeños. Comúnmente se componen de varios CI, un microcontrolador, circuitos de memoria e interface que sirven para la conexión hacia otros dispositivos y permitir su manejo. Estas son el resultado del avance en la electrónica que ha permitido reducir los espacios y poder encapsular la circuitería interna de los dispositivos. Dada la funcionalidad que tienen estos dispositivos se podría citar que tanto Arduino como Raspberry PI se encuentran dentro de esta clasificación ya que se componen de un microcontrolador con un conjunto de recursos propios en cada placa como se observa en la Figura 2.3[18].

Un microcontrolador se define como un dispositivo programable que ejecuta un conjunto de instrucciones grabadas en su memoria, las cuales son generalmente repetitivas. [19] Este circuito integrado resulta ser mucho más simple y pequeño tanto físicamente como en consumo energético, el cual se utiliza con un propósito específico como se ilustra en la Figura 2.4.

En el mercado existen múltiples marcas cuyos dispositivos tienen características muy similares y por lo cual se ha optado en utilizar y analizar la arquitectura general de

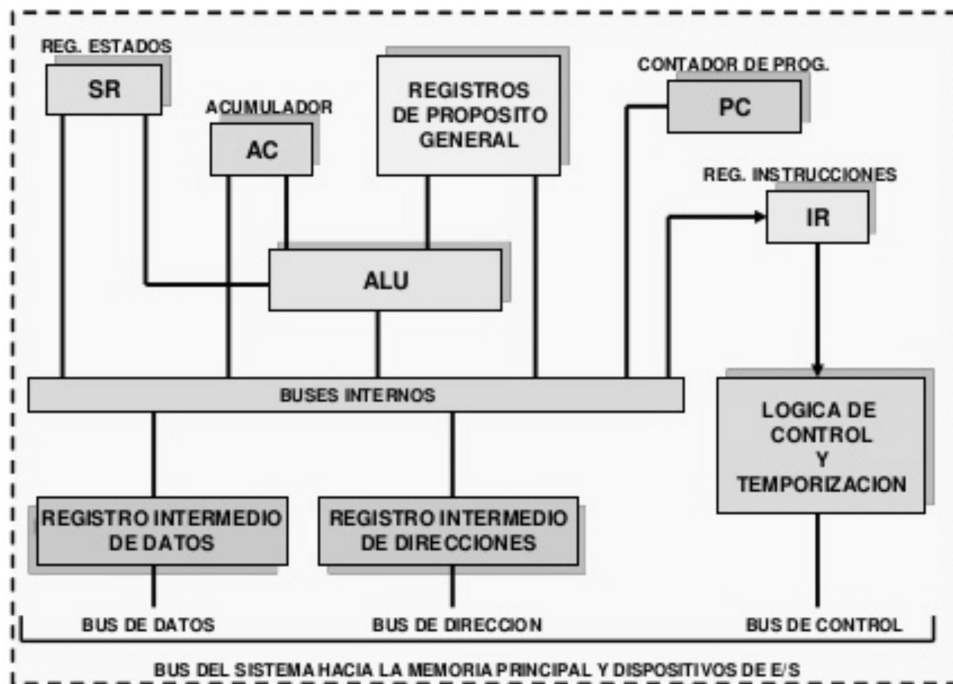


Figura 2.3: Estructura de un microcomputador[2].

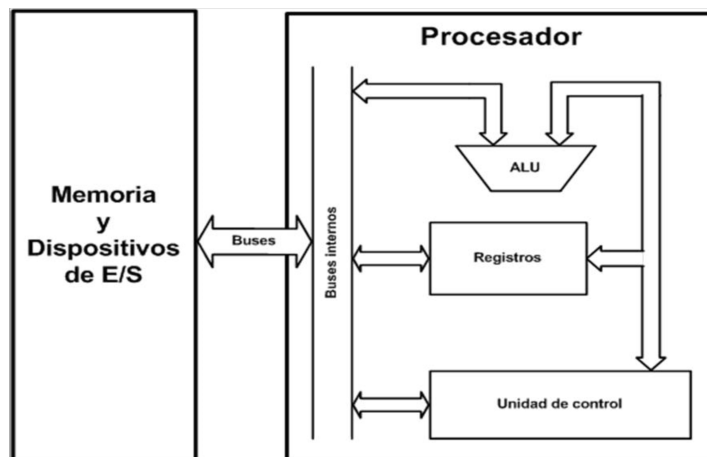


Figura 2.4: Estructura de un microcontrolador[2].

la marca con mayor aceptación en el mercado nacional, como Microchip™ Technology Inc. Para los dispositivos de esta marca se ilustrará como se encuentra la estructura interna, los registros, distribución de pines, memoria y modos de direccionamiento[20].

2.5.2. Elementos del microcontrolador

El microcontrolador dispone de elementos que son fundamentales para el funcionamiento de un sistema embebido, ayudando en el procesamiento de la información[20]. Entre los principales elementos tenemos[18]:

- **Unidad Central de Procesamiento.** Parte lógica del CPU, incluso se considera el núcleo de este, su funcionamiento se basa en una serie de líneas de control, las cuales seleccionan que operación debe realizar, así toma el valor de las dos entradas y devuelve el resultado de la operación.
- **Registro.** Los registros pueden ser el origen o el destino de una operación, inclusive se pueden particularizar a una función específica.
- **Stack Pointer.** El Stack Pointer o pila del programa es una memoria consecutiva que almacena la dirección de memoria de la siguiente instrucción a ejecutar.
- **Unidad de control.** Este elemento tiene como responsabilidad determinar qué operación se va a ejecutar después de conocer la ruta de datos de manera secuencial, para esto se ocupa un registro llamado el contador de programa.
- **Set de instrucciones.**
 - **CISC (Complex Instruction Set Computing).** Los procesadores CISC tienen un conjunto de instrucciones que se caracteriza por ser muy amplio y permitir operaciones complejas entre operandos situados en la memoria o en los registros internos.
 - **RISC (Reduced Instruction Set Computer).** En estos procesadores el repertorio de instrucciones máquina es muy reducido y las instrucciones son simples y, generalmente, se ejecutan en un ciclo. La sencillez y rapidez de las instrucciones permiten optimizar el hardware y el software del procesador.
 - **SISC (Simple Instruction Set Computing).** Este tipo de instrucciones son utilizadas en procesadores que son destinados a una función específica para una aplicación, como por ejemplo el procesamiento en paralelo.
- **Memoria.** Se pueden distinguir los siguientes tipos de memoria:

- **ROM (Read Only Memory) con máscara.** Un tipo de memoria no volátil en la cual su contenido es generado durante la fabricación de la memoria.
- **OTP (One Time Programmable).** Memoria no volátil cuyo contenido se graba sólo una vez. Para grabarla se utiliza un grabador en donde eléctricamente se introduce las instrucciones del programa.
- **UVPROM (Ultraviolet Programmable Read OnIy Memory).** Memoria no volátil que puede ser grabada y borrada muchas veces, para grabarla se utiliza un grabador en donde eléctricamente se introduce las instrucciones del programa y para borrarla cuenta con una ventana de cristal que si recibe los rayos UV (rayos ultravioleta provenientes del sol), se borrarán los datos grabados.
- **EEPROM (Electrical Erasable Programmable Read OnIy Memory).** Memoria no volátil que puede ser grabada y borrada muchas veces, para grabarla y borrarla se utiliza un grabador en donde eléctricamente se introduce las instrucciones del programa.
- **Flash.** Memoria no volátil que puede funcionar como ROM o como *Memoria de Acceso Aleatorio (RAM)*, pero tiene la ventaja de consumir menos electricidad y espacio, debido a estas características se están sustituyendo las memorias ROM por este tipo de memorias que son más rápidas, de mayor capacidad y más compactas.

- **Puertos de entrada y salida.**

Los puertos de entrada y salida permiten comunicar al procesador con el mundo exterior, a través de interfaces, o con otros dispositivos. Estos son la principal utilidad de los pines de un microcontrolador. Por lo general cuentan con entradas digitales y analógicas, en donde las entradas digitales capturan el valor de la señal y lo representan como un “0” o “1” lógico según sea el caso, en cambio los puertos analógicos capturan el valor real de la señal, esto si no sobrepasa los límites de valores permitidos en los pines de entrada[18].

- **Conversores A/D y D/A.**

La mayoría de las microcomputadoras contienen un convertidor analógico-digital (A/D) para procesar señales continuas.

- **Temporizador.**

Se utiliza para llevar a cabo acciones cuando se desborda un contador o llega a cero. Para utilizarlo primero se declara el contador, su sentido (incremental o decremental), y el evento que dispara el contador (por ejemplo un cambio de

flanco en la señal). También funcionan para llevar a cabo retardos con un tiempo preciso.

- **WatchDog.**

El watchdog o perro guardián es un sistema que evita que el software programado caiga en bucles infinitos o errores; consiste en un contador, que cuando se satura la variable que emplea reinicia el sistema.

- **Reloj principal.**

Para el funcionamiento de las microcomputadoras se requiere un ciclo de reloj para que puedan funcionar adecuadamente y sincronizar las operaciones del sistema, por lo general este ciclo es generado por un cristal de cuarzo, ya que estos tienen características piezoeléctricas y frecuencias muy altas.

- **Protección ante fallo de alimentación o Brownout.**

Este es un circuito que permite reiniciar el sistema cuando el voltaje de alimentación es inferior al mínimo voltaje (Brownout).

- **Estado de reposo.**

Consiste en instrucciones que se pueden programar para que el sistema no consuma energía a menos que la requiera: por lo general los microcontroladores disponen de la instrucción sleep para indicarle al microcontrolador que entrará en el estado de reposo y bajo consumo.

2.5.3. Protocolos de comunicación

Existen diferentes formas para simplificar e incorporar nuevos módulos o tarjetas integradas al dispositivo microcontrolador dentro de los pines que componen el mismo, destinados a entender protocolos de comunicación que son comunes en estos tipos de módulos. Por ejemplo el protocolo de comunicación *Circuitos Inter-Integrados (Es un bus de comunicaciones en serie)* (I²C), el *Interfaz Periférica Serial (Es un bus de comunicación serial síncrona)* (SPI) y el serial UART[21].

- **Comunicación I²C.** Para utilizar el reloj a tiempo real sincronizado con el dispositivo microcontrolador se utiliza el protocolo de comunicación I²C; con los pines denominados SDA y SCL respectivamente es posible utilizar este protocolo. Para el correcto funcionamiento de la comunicación entre el reloj y el microcontrolador es necesario habilitar la opción I²C.

- **Comunicación SPI.** Al igual que la comunicación I²C, previo al uso de este protocolo de comunicación se debe habilitar la opción SPI. Para utilizar el protocolo de comunicación SPI se ocupa los pines nombrados MOSI, MISO, SCK y CS respectivamente. El microcontrolador permite conectar varios módulos o circuitos integrados que para diferenciarlos, utiliza los pines de Chip Select[22].
- **Comunicación serial.** Este protocolo de comunicación es una de las más utilizadas por su simplicidad, confiabilidad y gran acogida por parte de fabricantes para la adaptación de sus dispositivos y módulos con microprocesadores y computadores. Los pines de comunicación son *(Transmitted Data) Datos Transmitidos (TXD)* y *Received Data, Datos Recibidos (RXD)*, respectivamente. Estos pines se utilizan para establecer la comunicación maestro esclavo; además de habilitar su uso a través de la librería *Universal Synchronous and Asynchronous Serial Receiver and Transmitter (UART)* es necesario especificar la velocidad de transferencia de datos en baudios, por ejemplo en 9600 bps. Al momento de escoger la velocidad de comunicación se debe considerar que a mayor velocidad se disminuye el ruido causado por interferencias externas pero también se aumenta la probabilidad de perder información en la comunicación.

2.6. Arduino

2.6.1. Introducción

Arduino es una plataforma electrónica a manera de prototipo, la cual goza de un código abierto tanto en hardware y software; los cuales son flexibles y relativamente fáciles de utilizar. Permite crear diferentes ambientes interactivos que sean necesarios recrear a pequeña escala. Este dispositivo contiene una gran variedad de sensores los cuales se encuentran conectados a un microcontrolador, el cual se programa usando el “Arduino Programming Language” y el “Arduino Development Environment” conectado directamente a un software en ejecución en un ordenador[3].

La tarjeta de Arduino se la puede ensamblar de manera personalizada como también obtenerla pre-ensamblada en diferentes modelos como los mostrados en la Figura 2.5. El software de programación tiene características multiplataforma, con lo cual se puede ejecutar en diferentes sistemas operativos tales como Windows, *Sistema Operativo de tipo Unix (que respeta la libertad del usuario, está compuesto en su totalidad por software libre y es auspiciado por la “Free Software Foundation”)* (GNU)/Linux y Mac OS X. Este tipo de plataformas se encuentra basado en microcontroladores a la marca

Atmel, que no son más que una variante de las principales marcas con la diferencia de ser de código abierto que permite a los usuarios familiarizarse de manera más íntima con la plataforma[6].

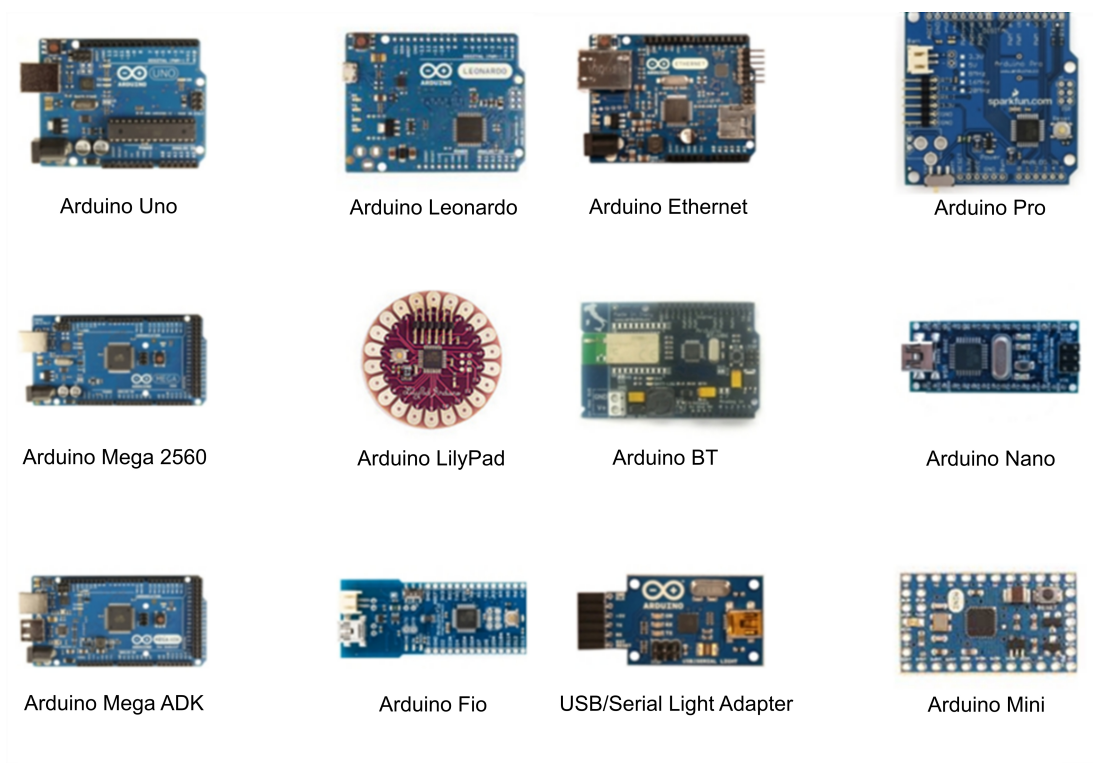


Figura 2.5: Modelos de las diferentes tarjetas Arduino[3].

Una de las características de Arduino es su bajo consumo y su manejo ágil que permiten un uso propicio en la domótica. Una desventaja de esta plataforma es que no se encuentra destinada a los ambientes industriales, ya que no cuenta con las normas de seguridad como otros dispositivos, por ejemplo las tarjetas PLC, dando lugar a fallos dentro de este campo.

2.6.2. Arquitectura del microcontrolador ATMEL

En general, todas las tarjetas pertenecientes a Arduino se encuentran compuestas por un microcontrolador ATMEL denominado AVR 8-bit RISC, que se compone de varias familias como ATmega. De una familia a otra varía la cantidad de memoria. La Figura 2.6 muestra un diagrama de bloques funcionales de un microcontrolador AVR.

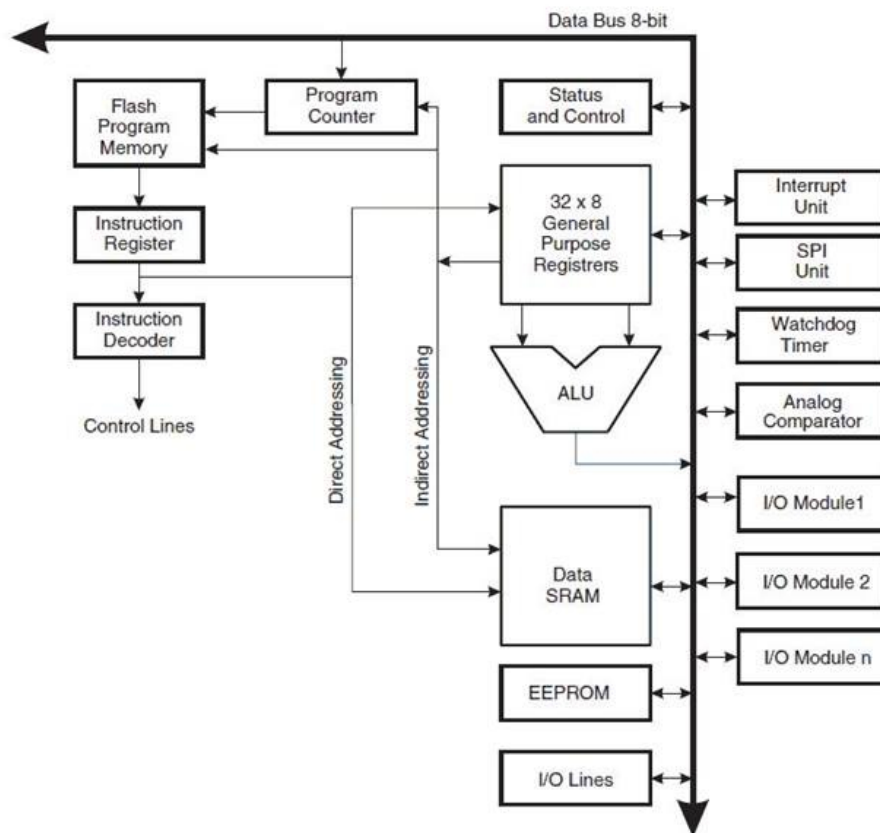


Figura 2.6: Diagrama de bloques correspondiente a un microcontrolador AVR.[4].

La arquitectura de los microcontroladores AVR es RISC, por lo que su memoria de datos está separada de la memoria de programa en la ALU para mayor eficiencia y robustez. Además, poseen interrupciones internas y externas, un reinicio por software con oscilador independiente que se activa al ocurrir algún evento de falla a manera de recuperación. Sus instrucciones se componen generalmente de 16 bits (2 bytes) que se albergan en la memoria de programa.

2.6.3. Sistema de memoria

La memoria dentro de los microcontroladores AVR de las tarjetas Arduino se subdivide en memoria de código de programa y una memoria de datos para el almacenamiento. Este sistema de memoria tiene dos etapas principales que son cargar y ejecutar, dando paso a la ejecución en un ciclo de reloj y haciendo de este tipo de microcontroladores relativamente rápidos.

2.6.4. Elementos de la tarjeta Arduino

Una visión general permite observar que la placa de Arduino viene integrada con un microcontrolador ATMEL que cuenta con entradas y salidas tanto analógicas como digitales, permitiendo en ciertos casos adaptarlas como salidas de (*Pulse Width Modulation*) *Modulación por Anchura de Pulsos* (PWM). También cuenta con conexión *Universal Serial Bus* (USB), conector de alimentación, una cabecera ICSP, un botón de RESET y un oscilador que varía su frecuencia dependiente del modelo de la tarjeta.

- **Conector USB.** Este elemento permite la programación y la toma de datos, también provee una fuente de 5VDC para alimentar al Arduino, pero de baja corriente por lo que no sirve para alimentar motores u otras cargas que requieran de gran potencia.
- **Plug de conexión para fuente de alimentación externa.** Este plug debe contener un voltaje entre 6V y 18V o hasta 20V. Generalmente se debe tener cuidado de que el terminal del centro del plug quede conectado a positivo ya que algunos adaptadores de tensión traen la opción de intercambiar la polaridad de los cables.
- **Regulador de voltaje de 5V.** Esta encargado de convertir el voltaje ingresado por el plug, en un voltaje de 5V regulado necesario para el funcionamiento de la placa y para alimentar circuitos externos.
- **Puerto de conexiones.** Está constituido por 6 pines de conexión con las funciones de RESET que permite resetear el microcontrolador al enviarle un cero lógico.
- **Pin 3.3V.** Provee de una fuente de 3.3VDC para conectar dispositivos externos como por ejemplo en el protoboard.
- **Pin 5V.** Una fuente de 5VDC para conectar dispositivos externos. Dos pines GND que permite la salida de cero voltios para dispositivos externos y compartir la conexión a tierra.
- **Pin Vin.** Este pin está conectado con el positivo del plug por lo que se usa para conectar la alimentación de la placa con una fuente externa de entre 6 y 12VDC en lugar del plug o la alimentación por el puerto USB.

- **Puertos de entradas analógicas.** El lugar donde se conectan las salidas de los sensores analógicos. Estos pines solo funcionan como entradas recibiendo voltajes entre cero y cinco voltios directos.
- **Microcontrolador ATmega 2560.** Este microcontrolador de gama alta se ha implementado con los Arduino 2560 en la versión SMD del Arduino 2560 R2, que utiliza el mismo microcontrolador pero en montaje superficial. En este caso las únicas ventajas son la reducción del peso y ganar un poco de espacio.
- **Botón RESET** permite resetear el microcontrolador haciendo que se reinicie el programa.
- **Pines de programación ICSP.** Estos pines son usados para programar microcontroladores en protoboard o sobre circuitos impresos sin tener que retirarlos de su sitio.
- **Diodo Emisor de Luz (LED) ON** se enciende cuando el Arduino está encendido.
- **LEDs de recepción y transmisión** se encienden cuando la tarjeta se comunica con el ordenador. El **TXD** indica transmisión de datos y el **RXD** recepción.
- **Puertos para conexiones como pines de entradas o salidas digitales.** La configuración como entrada o salida debe ser incluida en el programa. Cuando se usa la terminal serial es conveniente no utilizar los pines cero (**RXD**) y uno (**TXD**). Los pines 3, 5 y 6 están precedidos por el símbolo $\sim$, lo que indica que permiten su uso como salidas controladas por ancho de pulso **PWM**.
- **Puerto de conexiones, entradas o salidas adicionales.** Los pines 9, 10 y 11 permiten control por ancho de pulso; la salida 13 es un poco diferente pues tiene conectada una resistencia en serie, lo que permite conectar un **LED** directamente entre ella y tierra. Finalmente hay una salida a tierra GND y un pin AREF que permite ser empleado como referencia para las entradas analógicas.
- **LED Pin 13** Indica el estado en que se encuentra la placa Arduino.
- **Chip de comunicación** permite la conversión de serial a **USB**.

2.6.5. Arduino Mega 2560

El Arduino Mega 2560 es una placa grande y más potente que sus versiones anteriores, como se muestra en la Figura 2.7, que electrónicamente está basado en el

Voltaje de operación	7 a 12 V
Voltaje de entrada (límites)	6-20 V
Digital pines E/S	14 (de los cuales 6 proporcionan salida PWM)
Pines de entrada analógica	6
Corriente DC	40mA
Corriente continua	3.3V Pin 50 mA
Memoria Flash	256 KB(de los cuales 8 KB usados por bootloader)
SRAM	8KB
EEPROM	4KB
Velocidad del reloj	16 MHz

Tabla 2.1: Características básicas de la placa Arduino Mega 2560[4].

microcontrolador ATmega 2560. Este dispone de 256 KB de memoria flash para almacenar código, de los cuales 8 KB se utiliza para el gestor de arranque, 8 KB de SRAM y 4 KB de EEPROM. Además, cuenta con 54 pines digitales de entrada / salida de los que 15 se pueden utilizar como salidas [PWM](#), también 16 entradas analógicas, 4 puertos seriales, un oscilador de 16MHz, una conexión [USB](#), un conector de alimentación, una cabecera ICSP y un botón de reinicio.

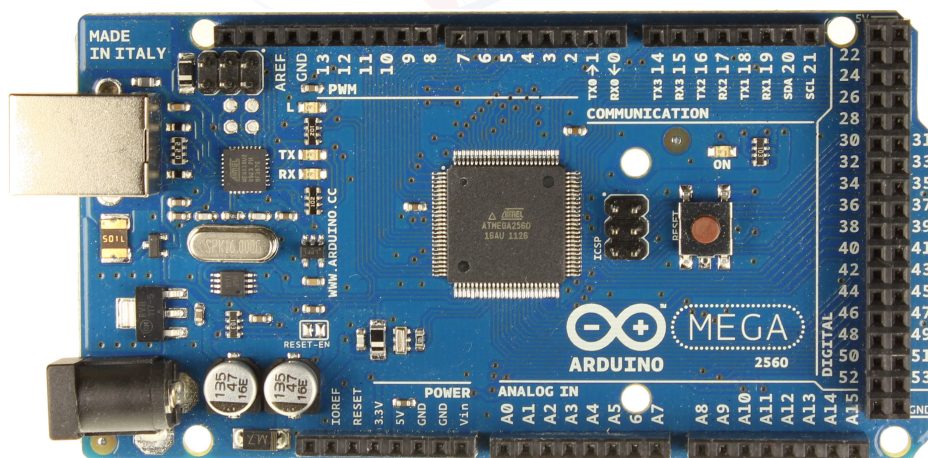


Figura 2.7: Arduino Mega 2560.[3].

Para alimentar el dispositivo se puede conectar a un ordenador con un cable [USB](#), el plug de poder con un adaptador AC-DC o una batería. A diferencia de las demás tarjetas Arduino puede funcionar con un suministro externo de 6 a 20 voltios. La Tabla 2.1 presenta estas características de manera organizada.

- **Comunicación.** El Arduino 2560 posee un mayor número de módulos para comunicarse con un ordenador, que otro Arduino o microcontrolador. El ATmega2560 provee comunicación serie UART (*Transistor-Transistor Logic*) *Lógica de Transistor a Transistor* (TTL) (5V), disponible en los pines digitales 0 (RXD) y 1 (TXD). Un chip ATmega16U2 en la placa canaliza esta comunicación serie al USB y aparece como un puerto COM virtual en el software del ordenador. El *(Programa almacenado en una memoria ROM, encargado de establecer la lógica de más bajo nivel que controla los circuitos electrónicos de un dispositivo)* (FIRMWARE) de este chip usa drivers estándar USB COM, por lo que no es necesario ningún driver externo. Sin embargo, en Windows suele fallar su instalación y es necesario realizar algunos ajustes[3]. El software de Arduino incluye un monitor serial que permite enviar desde y a la placa Arduino simples datos de texto. La librería SoftwareSerial permite comunicación serie en cualquiera de los pines digitales. Además, el Atmega2560 soporta comunicación I²C y SPI. El software de Arduino incluye una librería, Wire, para simplificar el uso del bus I²C[3].
- **Programación.** El ATmega2560 en la placa viene con el bootloader pregrabado para ingresar nuevo código sin la utilización de un programador de hardware externo. Se comunica utilizando el protocolo original STK500. Además se puede saltar el bootloader y programar el microcontrolador a través de la cabecera ICSP (por sus siglas en inglés de In-Circuit-Serial-Programming). Estos cuentan con modos de operación en reposo que permiten ahorrar energía cuando el procesador no se encuentre en funcionamiento[3].
- **Reseteo Automático (Software).** En lugar de requerir una pulsación física del botón de reset antes de una subida, el Arduino 2560 se resetea por software corriendo en una computadora conectada. Cuando el 2560 está conectado a una computadora que corre Mac OS X o Linux, se resetea cada vez que una conexión a él es hecha mediante software (vía USB).

El Arduino 2560 contiene una pista de soldadura que puede ser cortada para desactivar el auto reinicio. Los caminos de cada lado de la pista pueden ser soldados en conjunto para restablecerlo. Está etiquetado como “RESET-EN”. También es posible deshabilitar el auto reinicio conectando una resistencia de 110 ohms desde los 5V a la línea de reseteo.

- **Protección de sobrecarga del USB.** El Arduino 2560 tiene un fusible de reinicio que protege el puerto USB de la computadora de cortes y sobrecargas [3].

Aunque la mayoría de los ordenadores proveen su propia protección interna, el fusible proporciona una capa de protección extra. Si más de 500mA se aplican al puerto [USB](#), el fusible rompe automáticamente la conexión hasta que el corte o sobrecarga sean eliminados.

2.7. Raspberry PI

2.7.1. Introducción

En la última década ha existido múltiples avances dentro de las tecnologías de la información, debido a la necesidad de obtener un dispositivo que combine las características de adquisición de datos como también la comunicación y que sea accesible a los usuarios tanto en la complejidad computacional como en el precio. De esta manera, es que en el año 2009, se procedió a crear un dispositivo electrónico basado en una arquitectura RISC para su microcontrolador, denominado Raspberry PI por la fundación educacional del mismo nombre, siendo una tarjeta con código abierto. Su lanzamiento oficial se lo realizó el 29 de febrero de 2012 debido a la gran demanda que tuvo dentro del mercado[23].

La Raspberry PI es una minicomputadora integrada en una sola placa con sus partes totalmente fijas casi en su totalidad, para la cual existe comercialmente cinco versiones (Modelo A, Modelo B rev 1, Modelo B rev 2 y Modelo B+, el Compute Module y el Modelo C) [6], que se encuentran basados en el sistema *System on Chip (SoC)*, permitiendo contener una o más funciones de señal mixta, analógica, digital, memoria [RAM](#) o radiofrecuencia en un solo sustrato de silicio.

2.7.2. Elementos de la Raspberry PI

El objetivo principal en el desarrollo de la Raspberry PI es servir como plataforma para los usuarios que encuentren interés en la programación o en el control de los periféricos de bajo nivel tal como sensores, dispositivos computacionales, elementos de comunicación, etc. Para un mayor conocimiento de los elementos que contiene esta plataforma educacional, se examinara el siguiente esquema funcional mostrado en la Figura 2.8.

Figura 2.8: Esquema del minicomputador Raspberry PI Modelo B[5].

- a. **Conector (*Display Serial Interface*) Interfaz Serial para Visualizadores (DSI).** Este conector tipo Flat-Flex, que hace referencia a un conjunto de cables multiconductores dispuestos de manera plana y flexible, establece la interfaz serial para la visualización, como la conexión a pantallas (*Liquid Cristal Display*) *Pantalla de Cristal Líquido* (LCD), y soporten el estándar DSI.
- b. **Cabezal de expansión.** Este comprende en un conjunto de 26 pines que se encuentran agrupados dentro de un conector *Dual In Line Package, Empaque Dual en Línea* (DIL), que contiene un bloque de dos hileras de pines, con un espaciamiento de 0,254 mm, es decir, con 13 pines por dos filas (20 pines por dos filas en las versiones “A+” y “B+”). Dentro de este cabezal se encuentran los pines de alimentación (+5 V, +3.3 V y GND) y los puertos GPIO del SoC al exterior, estos puertos pueden ser configurados de diversas maneras (PWM, Entrada, Salida, Latch) bajo control del software en ejecución. En la Figura 2.9 puede verse un esquema de la asignación de las funciones de cada pin.

Un hecho importante en los GPIO es que se puede alimentar a través de estos pines específicos, pero que al utilizarlos de esta manera se pierde el efecto de los fusibles reseteables que brindan protección contra sobre corrientes en circuitos electrónicos.

También, los pines GPIO entregan una corriente máxima de 50 mA en total, es decir, en conjunto todos los pines entregan esta cantidad. Individualmente, cada pin es capaz de disipar una cantidad máxima de 16 mA. Otra característica a considerar en los pines GPIO es que para su operación satisfactoria el voltaje lógico de reconocimiento debe de igual a 3.3 VDC, añadiendo que estos pines no se encuentran protegidos contra sobretensiones o caídas de tensión lo que puede provocar una avería permanente en el SoC si se interconecta cualquier dispositivo TTL o (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*) *Semiconductor Complementario de Óxidos Metálicos* (CMOS) de 5 VDC o mayor[5].

Los pines con ciertas funciones específicas: +5 V, +3,3 V, GND, I²C, PWM, SPI, TXD, RXD y One-Wire están predefinidos por el FIRMWARE del dispositivo y no pueden ser cambiadas por el usuario.

- c. **Puerto de video.** Este se caracteriza por ser un puerto RCA lo cual le permite tener acceso a un medio de visualización analógico sea una pantalla u otro accesorio que se adapte al puerto. Obviamente, la calidad cambia debido a la procedencia analógica de la señal y por ende de baja resolución.

Raspberry Pi Model A & B (P1 Header)				
PIN #	NAME		NAME	PIN #
	3.3 VDC Power	1		2
			5.0 VDC Power	
8	SDA0 (I2C)	3		4
			DNC	
9	SCL0 (I2C)	5		6
			0V (Ground)	
7	GPIO 7	7		8
			TxD (UART)	15
	DNC	9		10
			RxD (UART)	16
0	GPIO 0	11		12
			GPIO1	1
2	GPIO2	13		14
			DNC	
3	GPIO3	15		16
			GPIO4	4
	DNC	17		18
			GPIO5	5
12	MOSI	19		20
			DNC	
13	MISO	21		22
			GPIO6	6
14	SCLK	23		24
			CE0	10
	DNC	25		26
			CE1	11

Figura 2.9: Asignación de pines **GPIO** en la Raspberry PI Modelo B, rev 1 y Modelo B, rev 2[6].

- d. **Puerto de audio.** El conector permite la salida del audio con un formato estéreo en bajo nivel.
- e. **LEDs de estado.** Su función principal es indicar los diferentes estados de operación, como el estado del puerto Ethernet, operación de lectura y escritura dentro

del medio de almacenamiento masivo y por supuesto si el dispositivo se encuentra conectado a la alimentación *Corriente Directa (DC)*.

- ACT: Acceso a la memoria *SD*, de color verde.
 - PWR: indicador del voltaje de 3.3 V, de color rojo.
 - FDX: Indicador de la conexión LAN, de color verde.
 - LNK: Indicador de actividad en el enlace LAN, de color verde.
 - 100: Indicador de transferencias a 10 – 100 Mbit en el enlace LAN, de color amarillo.
- f. **Puertos *USB***. La conexión que se realiza a periféricos como el teclado, ratones, adaptadores inalámbricos, impresoras entre otros es posible gracias a esta interfaz.
- g. **Controlador *Ethernet***. Este controla el puerto Ethernet que básicamente depende del puerto *USB* integrado internamente en el *SoC*.
- h. **Puerto *Ethernet***. El conector empleado es RJ-45 que permite la conexión física del dispositivo a redes LAN.
- i. **Conector *CSI-2***. Este conector Flat-Flex permite la conexión hacia un dispositivo de alta definición como cámaras de video.
- j. **Conector *Interfaz Multimedia de Alta Definición (HDMI)***. Este puerto *HDMI* estándar permite la conexión de un monitor u otro elemento de visualización que opere en alta definición.
- k. **System on a Chip**. Dentro de la Raspberry PI, el *SoC* se encuentra compuesto por un encapsulado que contiene un procesador (*Unidad de Procesamiento Gráfico (GPU)*), un microcomputador de un solo núcleo, procesador digital de señales, puerto *USB* y la memoria (*Synchronous Dynamic Random Access Memory*) *Memoria Sincrónica de Acceso Aleatorio (SDRAM)*.

La capacidad de *RAM* no se puede expandir debido al ensamblado fijo de los elementos de carácter compartido entre el *Unidad Central de Procesamiento (CPU)* y la *GPU*. Así también, cada elemento de la placa puede funcionar hasta temperaturas aproximadas de 85 °C. El microprocesador que compone la tarjeta es un ARM 1176JZFS de 32 bits con unidad de punto flotante, debido a su rendimiento y bajo costo a diferencia de los microcontroladores PICs o Arduino, se encuentra corriendo a 700 MHz [6]. Entre los principales periféricos que se conectan a la Raspberry Pi se tienen:

- Temporizadores.

- Control de interrupciones.
- [GPIO](#).
- [USB](#).
- PCM: Modulación por impulsos codificados.
- [I²C](#) maestro.
- [I²C/SPI](#) esclavos.
- [UART](#).

1. **Conector microUSB.** La alimentación del dispositivo (+5 VDC, $\pm 4\%$), se la realiza por este conector y tiene un consumo de corriente mínimo de 700 mA, pero que puede aumentar representativamente la demanda de corriente con el uso intensivo de gráficos, el módulo de la cámara HD, conexiones de periféricos [USB](#) tales como teclados, adaptadores inalámbricos, ratones, y otros como también el uso de los pines [GPIO](#). Para esto se aconseja mantener el efecto de rizado al mínimo posible que desemboque en un funcionamiento errático del dispositivo y la eventual corrupción del contenido de la memoria de almacenamiento masivo[23].

m. **Tarjeta *Multi Media Card* (MMC)/SD.** El medio de almacenamiento masivo que soporta la tarjeta, dándole una gran versatilidad en su funcionamiento y manejar el rol que desempeña la Raspberry PI con la configuración del mismo. Una característica importante está ligada a la calidad del medio de almacenamiento masivo ya que determina el mejoramiento del rendimiento del dispositivo en general y soporta una capacidad micro [SD](#) de hasta 32 GB[6].

2.7.3. Características técnicas de la Raspberry PI

En general, las características técnicas de mayor importancia en la familia de minicomputadores Raspberry PI se detallan en la Tabla 2.2. Los modelos “A+” y “B+” carecen del conector tipo RCA, en su lugar están equipados con un conector de 3,5 mm de cuatro polos que combina las salidas de audio estéreo y video en un único empaque.

2.7.4. Sistema operativo para el minicomputador

El sistema operativo que se recomienda y soporta la Raspberry PI es Raspbian, una derivación de Linux Debian, pero también existen otros sistemas operativos que tienen mayores funcionalidades e implican adaptaciones específicas en la plataforma[5][24].

Las características que resaltan este uso del Raspbian se encuentran en la versatilidad, el bajo costo, abundancia en documentación y soporte al usuario, que hacen de la

Dimensiones físicas	Modelos “A”, “B” y “B+”: 85 mm x 56 mm, (aproximadamente el tamaño de una tarjeta bancaria, no incluye proyecciones)
	Modelos “A” y “A+”: 65 mm x 56 mm, (no incluye proyecciones).
Peso	Modelo “A”: 31 Gramos
	Modelo “A+”:23 Gramos
	Modelo “B”: 39 Gramos
	Modelo “B+”:42 Gramos (The Raspberry PI 2 Q&A thread, 2015)
Puertos I/O integrados	(01) USB 2.0 (Modelos “A” y “A+”)
	(02) USB 2.0 (Modelo “B” solamente)
	(04) USB 2.0 (Modelo “B+” solamente)
	(01) Ethernet 10/100 MBits (Sólo modelos “B” y “B+”)
	(17) GPIO de propósito general (Modelos “A” y “B”)
	(26) GPIO de propósito general (Modelos “A+” y “B+”)
Procesador	(01) SoC ARM Broadcom BCM2835 de 700 MHz (nominal), incorpora CPU , GPU , Procesador Digital de Señales (DSP) , SDRAM y puerto USB en un único empaque.
Memoria RAM	256 MiB RAM (Modelos “A”, “B rev 1” y “A+”)
	512 MiB RAM (Modelos “B rev. 2” y “B+”)
Audio	(01) Conector de 3,5 mm para salida de audio estéreo (Sólo modelos “A” y “B”)
Dimensiones físicas	Modelos “A”, “B” y “B+”: 85 mm x 56 mm, (aproximadamente el tamaño de una tarjeta bancaria, no incluye proyecciones)
	Modelos “A” y “A+”: 65 mm x 56 mm, (no incluye proyecciones)
Video	(01) Conector Flat-Flex para cámara HD propietaria.
	(01) Conector RCA para salida de video compuesto, (soporta estándares PAL/NSTC, (Sólo modelos “A” y “B rev. 1”)
	(01) Conector para salida de video HDMI revisiones 1.3 y 1.4
	(01) Conector Flat-Flex para pantalla LCD bajo estándar DSI.
Alimentación	(1) Conector micro USB (+5 VDC, $\pm 4\%$, tierra negativa) (Raspberry PI, Manual del Usuario, 2015)
Requerimientos nominales de potencia	Modelo “A”: 0,3 Amperio, (1,5 vatios)
	Modelo “A+”:0,2 Amperio, (1,0 vatio)
	Modelo “B”: 0,7 Amperio, (3,5 vatios)
	Modelo “B+”:0,65 Amperio, (3,0 vatios)
Medio de almacenamiento masivo	(01) Slot para tarjetas tipo MMC / SD (Sólo modelos “A” y “B rev 1”)
	(01) Slot para tarjetas tipo micro SD (Modelos “A+”, “B+” y subsiguientes)

Tabla 2.2: Características técnicas de la familia de microcomputadores Raspberry PI[6][5].

plataforma ideal para el desarrollo, enseñanza y experimentación. La flexibilidad que brinda al usar un medio de almacenamiento masivo y removible, hace que se pueda tener diferentes sistemas operativos funcionando a la vez[25]. Es posible desarrollar, instalar y ejecutar software GNU en la Raspberry PI tal y como se haría en un computador personal o portátil de mayores prestaciones, con la lógica limitación del espacio disponible en el medio de almacenamiento y/o los requerimientos mínimos de hardware que las aplicaciones puedan tener[26][24].

2.8. ADC

El proceso de conversión analógico digital involucra tres pasos, en primer lugar el muestreo de la señal a intervalos discretos de tiempo; segundo la evaluación de cada muestra en término de un rango discreto de valores y tercero la codificación de tales valores en una secuencia de n-bits.

2.8.1. Propiedades básicas

- **Resolución.** Definido como el paso más pequeño en la entrada en capacidad de ser detectado, corresponde al cambio del bit menos significativo (LSB). Mientras menor sea este valor se le atribuye al ADC mayor resolución.
- **Ganancia.** El inverso de la resolución, se expresa en conteos/Voltios.
- **Tasa de muestreo.** Número de muestras adquiridas por segundo. Según el Teorema de Nyquist, esta debe ser al menos 2 veces mayor al ancho de banda de la señal de entrada. Por lo general el performance del ADC se reduce con el aumento de la tasa de muestreo.
- **Máxima Entrada o Escala Completa (FS).** El intervalo o la relación entre el mayor y el menor valor que el ADC puede otorgar. Dado que la menor medida es un bit, es usual representar el rango dinámico como el número n de bits disponibles a la salida. Sin embargo esto es teórico pues el nivel de ruido presente hace que el rango dinámico de un ADC se reduzca por una mala configuración. Otra consideración que caracteriza el rango dinámico es el ancho de banda de la señal de entrada así como la tasa de muestreo.
- **Precisión.** Se define como la diferencia entre el voltaje de entrada y el voltaje que representa la salida. El error debido a los pasos de digitalización, idealmente ($\pm$ LSB), se conoce también como el error de cuantización.

- **Nivel de Ruido.** El valor discreto asignado a una entrada de 0V. En el caso de un **ADC** con alto rango dinámico se toma como el promedio a través de varias muestras.
- **Tiempo de Conversión.** Tiempo requerido para completar el proceso de conversión. Se podría definir como el periodo de la máxima frecuencia de muestreo posible del **ADC**. Muchos **ADC** utilizan en su entrada una etapa de muestreo y retención, de manera tal que el valor muestreado no varíe durante el proceso de evaluación y codificación.
- **CrossTalk.** Un efecto que se produce cuando un **ADC** posee más de un canal. Se define como la relación entre la diferencia del valor de potencia obtenido cuando hay una perturbación en otro canal y cuando no la hay, entre la potencia de dicha perturbación.
- **No-Linealidad.** Este valor se expresa como un porcentaje de la escala completa. Es la desviación relativa entre el valor ideal y el valor de salida para una señal de entrada analógica tipo rampa.
- **Impedancia de Entrada.** Idealmente debe ser lo más alta posible para no tener influencia en circuitos anteriores al **ADC**.
- **Offset** es el valor **DC** de la salida para una entrada de 0 Voltios.

2.8.2. Aliasing

El efecto de tomar muestras con una tasa menor a la dada por el teorema de Nyquist no solo significa perder información de las frecuencias más altas sino además se introducen energías a frecuencias más bajas que son una falsa representación de la señal con frecuencia más alta.

La Figura 2.10 indica un ejemplo del aliasing al muestrear una señal sinusoidal con frecuencia f . De esta manera se concluye que la frecuencia mínima de muestreo debe ser igual o mayor al doble de la frecuencia de la señal, para que no exista pérdida de la información. Cuando la frecuencia de muestreo es igual a la de la señal, como caso particular se pierde toda la información, y para una frecuencia de muestreo menor a la de la señal muestreada se obtiene datos que no corresponden con la señal analógica.

La mejor manera de solucionar este inconveniente es usando un filtro pasa bajo antes de la entrada al **ADC**. Con un filtro analógico es difícil obtener una respuesta de amplitud plana en la banda de paso y desfase cero (ideal) o lineal. Esta respuesta del

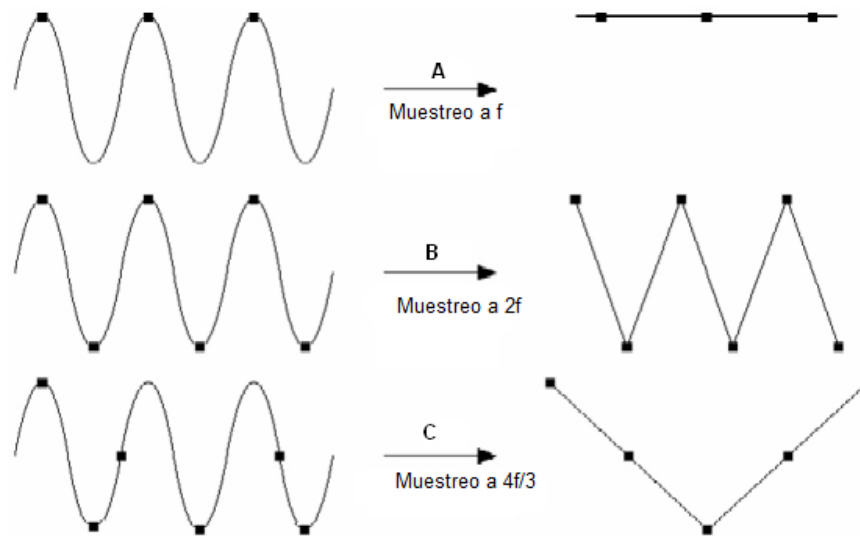


Figura 2.10: Ejemplo de señal muestreada a distintas frecuencias

filtro también debe ser tomada en cuenta para la corrección de la señal sísmica original. Afortunadamente los [ADC](#) de alta resolución utilizan mecanismos de sobremuestreo y decimación de forma que los filtros anti-aliasing pueden realizarse digitalmente y solo se requiere un filtro para frecuencias muy altas; que se pueden elaborar con un filtro Resistencia-Capacitor u otros filtros de menor orden.

2.8.3. [ADC](#) MCP3550

Uno de los principales conversores utilizados en el procesamiento de señales es el [ADC](#) de tipo sigma-delta que se basan en la idea de digitalizar con una baja resolución, obteniendo un valor estimado de la señal analógica y el error de cuantización sea retroalimentado restándolo de la señal de entrada para obtener una nueva estimación de la entrada. Al final el valor de salida es un promedio de varias estimaciones sucesivas, por eso este conversor opera a mayor frecuencia que la deseada de muestreo, lo que conlleva la ventaja de que la resolución de un [ADC](#) es aumentada al realizar sobre-muestreo.

La Figura 2.11 muestra un conversor sigma-delta de primer orden con un [ADC](#) interno de 1 bit. La salida está dada por la siguiente ecuación de diferencias:

$$y_i = x_{i-1} + (e_i - e_{i-1}) \quad (2.1)$$

$$e_i = x_i + y_i \quad (2.2)$$

Que da igual a tener las siguientes funciones de transferencia en el dominio Z.

$$STF(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = z^{-1} \quad (2.3)$$

$$NTF(z) = \frac{Y(z)}{N(z)} = 1 - z^{-1} \quad (2.4)$$

Donde 2.3 es la función de transferencia con respecto a la entrada y actúa como un filtro pasa-bajo y 2.4 es la función de transferencia respecto al error de cuantización y actúa como un filtro pasa-alto, lo que sumado resulta en una señal de bajo ruido en la banda de paso del filtro pasa-bajo y un nivel de ruido muy alto en altas frecuencias pero que no es de importancia, pues a la salida le sigue otra etapa de filtrado pasa-bajo.

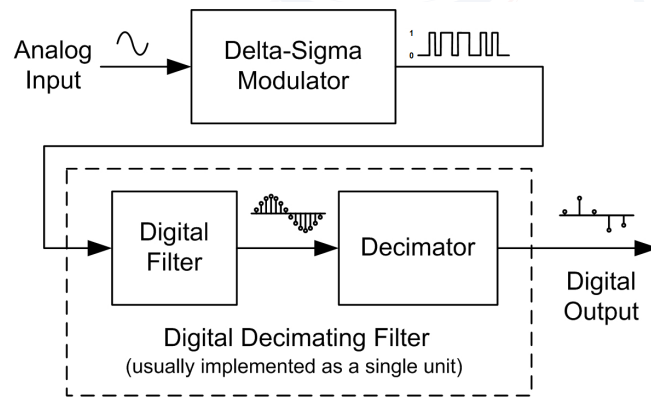


Figura 2.11: Conversor Sigma-Delta de Primer Orden[7].

Los ADC comerciales por lo general son de mayor orden y ocupan un ADC flash interno de mayor resolución para disminuir el número de salidas necesarias para realizar el promedio. Además utilizan un filtro digital a la salida para realizar la decimación y obtener la codificación en la cantidad de bits deseados.

Un inconveniente de los conversores sigma-delta es la aparición de tonos no deseados cuando la entrada es una señal pura DC. Esto se debe al integrador que puede llegar a saturarse. Para solucionarlo, los ADC de este tipo traen consigo la opción de tramado (dithering) que es el proceso de añadir ruido conocido en el lazo del sistema. Este error es filtrado por el propio sistema y por lo general tiene media cero por lo que no produce disturbios en la salida.

El MCP3550 es un [ADC](#) sigma-delta de tercer orden de un canal con salida de 22 bits. La interfaz de comunicación con otros dispositivos es [SPI](#), con capacidad de utilizar también el flujo binario como salida de datos. La Figura 2.12 muestra el diagrama de bloques funcionales del circuito integrado.

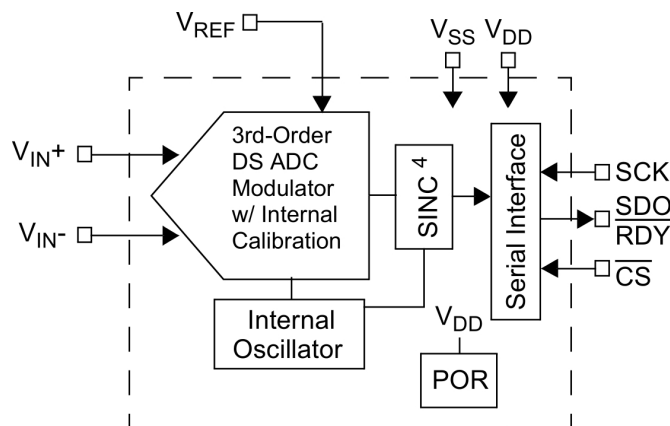


Figura 2.12: Diagrama de bloques funcionales del MCP3550.

Las características técnicas principales de este dispositivo son:

- Impedancia de Entrada: 350 K Ω
- Relación Señal-Ruido y Distorsión(SINAD): 91dB
- Distorsión Armónica Total (THD): -104 dB
- Error de offset=0.1mV
- Frecuencia de sobre-muestreo=1Mhz
- Frecuencia de salida de datos 22-bits=3.9 ksps
- ENOB=14.89 bits
- Rango Dinámico= 109 dB
- Crosstalk= -133dB

El MPC3550 utiliza internamente un [ADC](#) y un DAC de 5 niveles, en caso de necesitar la salida del [ADC](#) interno esta se serializa con códigos de 4 bits, iniciando en 0000 para el primer nivel y desplazando un 1, desde el LSB, por cada nivel superior. El filtro de decimación es un filtro sinc de tercer orden, el tiempo de ajuste de este filtro es 3 veces el periodo de muestreo. La función de transferencia del filtro se expresa como:

$$H(z) = \left(\frac{1 - z^{-256}}{256(1 - z^{-1})} \right)^3 \quad (2.5)$$

2.9. Temporización de Datos

La precisión en tiempo es igual de importante y necesaria que la precisión en amplitud en la información meteorológica. Se busca que esta precisión temporal sea menor a 10 ms. El uso de un reloj de tiempo real ayuda en el cumplimiento de esta característica. El muestreo inicia en el momento exacto que el reloj indica el cambio de segundo y también la transmisión de datos es realizada en el mismo instante. Este método facilita el procesamiento de los datos en series largas de tiempo.

- **Reloj a Tiempo Real DS1307.** El DS1307 es un reloj a tiempo real que provee los segundos, minutos, horas (en formato de 12 o 24 horas), día de la semana, fecha, mes y año en formato BCD (codificación binario decimal). Los datos son transmitidos por un puerto serial [I²C](#). El reloj es de bajo consumo energético, menos de 500nA y reconoce automáticamente fallas de la fuente de alimentación principal para conmutar a una fuente de respaldo, por lo general una batería tipo botón. Utiliza para su funcionamiento un cristal de 32.768 kHz[27].
- **Comunicación y Recuperación de Datos.** La comunicación con el grabador tiene dos propósitos, revisar los parámetros de operación y la descarga de datos. La interfaz más común es la RS-232, ya sea directamente o través de un modem. Los grabadores modernos utilizan conexión Ethernet [TCP/IP](#) o [USB](#). El uso de un puerto de comunicación para la descarga de datos no siempre es práctico si la cantidad de datos es bastante grande. El uso de unidades de almacenamiento removibles, ya sean CD's, discos duros o unidades flash, son una alternativa en estos casos.

2.10. [TCP/IP](#)

Los protocolos de red para Internet se los conoce generalmente como el conjunto de protocolos [TCP/IP](#). Estos protocolos describen la interacción entre los equipos que establecen la comunicación en las capas del modelo de red. El modelo OSI es tomado como modelo de referencia teórico pero en la práctica se utiliza el modelo de Internet o [TCP/IP](#). La Figura 2.13 muestra la correspondencia entre ambos modelos[8].

La primera capa es el nivel físico y se encarga de la garantizar conexión de los medios físicos, estableciendo las características electromagnéticas de la transmisión de datos.

La segunda capa es de enlace de datos y se ocupa del direccionamiento físico, ac-

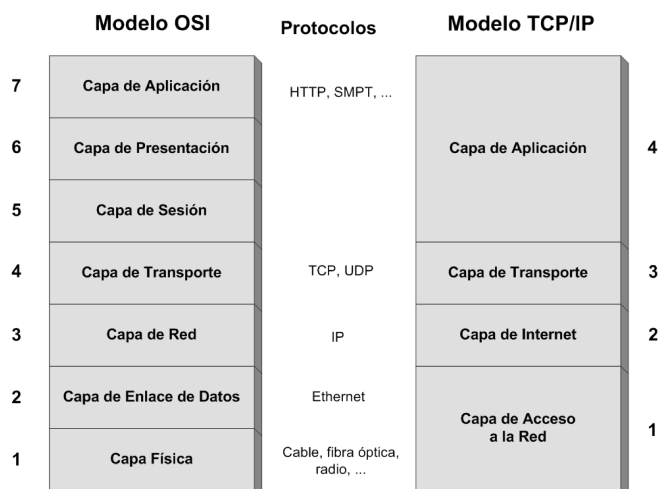


Figura 2.13: Modelos de Red[8].

ceso al medio, detección de errores y control de flujo de las tramas (conjunto ordenado de bytes). Estas dos capas del modelo OSI constituyen la primera capa del modelo **TCP/IP**, llamada capa de acceso al medio. Es por ello que el protocolo estándar Ethernet involucra a ambas capas, determinando el medio físico y el formato de las tramas.

La tercera capa es la de red y se corresponde con la segunda capa del modelo **TCP/IP** o capa de Internet. En esta capa se realiza el direccionamiento lógico, generalmente con el protocolo IP y se determina la ruta de los datos desde el emisor hasta el receptor, que pudieran estar conectados no directamente. La unidad de información en esta capa son los paquetes. **IP o protocolo de Internet** provee un servicio de datagramas no fiable. Las cabeceras IP contienen las direcciones lógicas de la máquina de origen y destino. El protocolo en su versión 4, la más popular, (IPv4) utiliza direcciones de 32 bits y en su versión sucesora (IPv6) direcciones de 128 bits.

La cuarta capa es de transporte y se encarga del transporte de los datos de la máquina emisora a la de destino. La unidad de datos en este nivel es el datagrama, si se utiliza protocolo UDP o segmento si el protocolo usado es TCP.

TCP o protocolo de control de transmisión es orientado a la conexión, garantizando que los datos serán entregados en el destino sin errores y en el mismo orden en que se transmitieron, es decir proporcionando transporte fiable del flujo de bits. UDP o protocolo de datagramas de usuario no es orientado a la conexión. Añade apenas la información necesaria para la comunicación extremo a extremo del paquete. Se utiliza para transporte no fiable de datos como audio o video en tiempo real donde es más



importante proporcionar transmisión continua a múltiples destinos que la confiabilidad de los datos. La cuarta capa del modelo OSI es asimilable a la tercera capa del modelo [TCP/IP](#). La segunda y tercera capa del modelo [TCP/IP](#) se abstraen en conjunto en el concepto de socket, que es definido por el protocolo de transporte, las direcciones IP y puertos lógicos de ambos equipos; que es usado por desarrolladores para realizar programas capaces de intercomunicarse entre sí bajo la arquitectura cliente- servidor.

La quinta capa es de sesión y se encarga de mantener el enlace establecido entre los extremos.

La sexta capa de presentación se encarga de la semántica y la sintaxis de los datos, permitiendo también el cifrado y la comprensión.

La séptima y última capa de aplicación define los protocolos de las distintas aplicaciones usadas en una red como son: correo electrónico, páginas web, servidor de ficheros, acceso remoto, etc. Esta capa se encuentra implementada en los programas de usuario de manera tal que el usuario no interactúe directamente con el nivel de aplicación. Estas tres últimas capas son en conjunto análogas a la cuarta y última capa del modelo [TCP/IP](#) llamada también de aplicación[28].



Capítulo 3

Descripción y evaluación de los dispositivos de campo instalados por SENAGUA

3.1. Introducción

OMM establece recomendaciones de instrumentos y métodos de observación para el monitoreo climatológico, específicamente para la medición y registro de variables como: temperatura, humedad, viento, radiación solar, precipitación y presión atmosférica que guían la planificación, operación y mantenimiento de una estación meteorológica. En el presente capítulo se estudian distintos manuales de procedimientos para estaciones meteorológicas pertenecientes a instituciones internacionales, que se basan en las recomendaciones mencionadas.

El enfoque es comparar y definir un tiempo de muestreo o un tiempo de actualización de la medición instantánea de las distintas variables meteorológicas en observación, del que depende la densidad de datos disponibles para procesamiento. Se debe considerar que este tiempo depende principalmente del tiempo de respuesta de los diferentes sensores utilizados, por lo que se analizan también las especificaciones técnicas de la estación de meteorología Campbell y los sensores SIAP+MICROS, utilizados en el proyecto.

3.2. Estaciones meteorológicas

Una estación meteorológica está definida como un conjunto de dispositivos que están destinados a medir y registrar de manera regular diversas variables meteorológicas

como temperatura del aire y del suelo, humedad del aire, viento, radiación solar, presión atmosférica, evaporación y precipitación. Los datos obtenidos son utilizados a posteriori para la predicción y estudio del clima.

La [OMM](#) recomienda instalar los sensores en lugares que se puedan representar correctamente las variables meteorológicas a medir, tanto del clima y del suelo. Esto se ve relacionado con el hecho de que no deben existir obstáculos que provoquen una medición errónea de un determinado sensor. Según la [OMM](#), las características que deben tener las estaciones meteorológicas son:

- Sensores meteorológicos que permitan obtener una señal electrónica.
- La instrumentación electrónica para manipular dichas señales y convertirlas en valores digitales.
- Medios de almacenamiento tanto in situ como permanentes donde se respalde la información.
- El equipo necesario para la transmisión de la información.

3.2.1. Clasificación de las estaciones meteorológicas

Existen diferentes criterios en que la [OMM](#) clasifica a las estaciones, algunas de estas se presentan a continuación. Según su finalidad:

- Sinóptica
- Climatológica
- Agrícolas
- Especiales
- Aeronáuticas
- Satélites

Según la magnitud en las observaciones:

- Principales
- Ordinarias
- Auxiliares

Por el nivel de observación:

- Superficie
- Altitud

Según el lugar de observación:

- Terrestre
- Aéreas
- Marítimas

Una de las principales características de las estaciones meteorológicas es su uso para la medición remota. Partiendo de esta característica, se tienen dos tipos:

- Estaciones climatológicas donde la medición de los datos se la realiza en tiempo diferido.
- Estaciones sinópticas que entregan sus datos a en tiempo real.

Este tipo de estaciones se diferencian únicamente en la presencia de una unidad de codificación y en la comunicación para la entrega de la información. Las estaciones sinópticas necesitan estar enlazadas de manera permanente al usuario final. La comunicación no es necesariamente un elemento intrínseco de la estación meteorológica.

3.2.2. Entes reguladores para estaciones meteorológicas

A continuación se describen brevemente las instituciones que se han considerado para el estudio de las diferentes variables meteorológicas:

- ASABE (American Society of Agricultural and Biological Engineers) publica el manual “Prácticas para medida y reporte de estaciones automáticas agrícolas de meteorología”. Esta organización se dedica a los avances en ingeniería aplicada a la agricultura, alimentos y sistemas biológicos. Las normas ASABE, informativas y de asesoramiento, son desarrolladas para satisfacer las necesidades de normalización en el ámbito de la sociedad agrícola, respecto a equipos de granja, manejo del suelo, recursos de agua, equipos de césped y paisaje, ingeniería forestal, ingeniería de alimentos, aplicaciones de energía eléctrica, medio ambiente de plantas y animales, y gestión de residuos [29].
- KNMI es una agencia que pertenece al Ministerio de Transporte, Obras Públicas y Gestión del Agua de los Países Bajos. Es el instituto nacional de meteorología y sismología que contribuye a la seguridad, la calidad de vida y la prosperidad de la colectividad. El KNMI representa a los Países Bajos en la Organización Meteorológica Mundial[11].
- OET (Organización para Estudios Tropicales) es un consorcio sin fines de lucro de más de cincuenta universidades, colegios e instituciones de investigación de todo el mundo, que radica en Costa Rica. Promueve la educación, la investigación y

el uso responsable de los recursos naturales en los trópicos para contribuir en el conocimiento de la biología tropical y los ecosistemas forestales[9].

3.3. Variables meteorológicas

Las estaciones meteorológicas deben capturar los elementos mínimos que permitan respaldar y facilitar las investigaciones científicas [9], siendo así las principales mediciones según la OET:

- Temperatura
- Humedad
- Presión atmosférica.
- Viento
- Precipitación
- Radiación

En la siguiente sección se especifica las características de cada una de estas variables definidas en los manuales y en las especificaciones técnicas de los sensores utilizados para su observación, tal como se observa en la Figura 3.1. Las características incluyen unidades, rango, resolución, tiempo de muestreo o actualización, tiempo establecido para obtener promedios, máximas y mínimas, etc., para describir las variables durante las últimas 24 horas, días, meses o años.

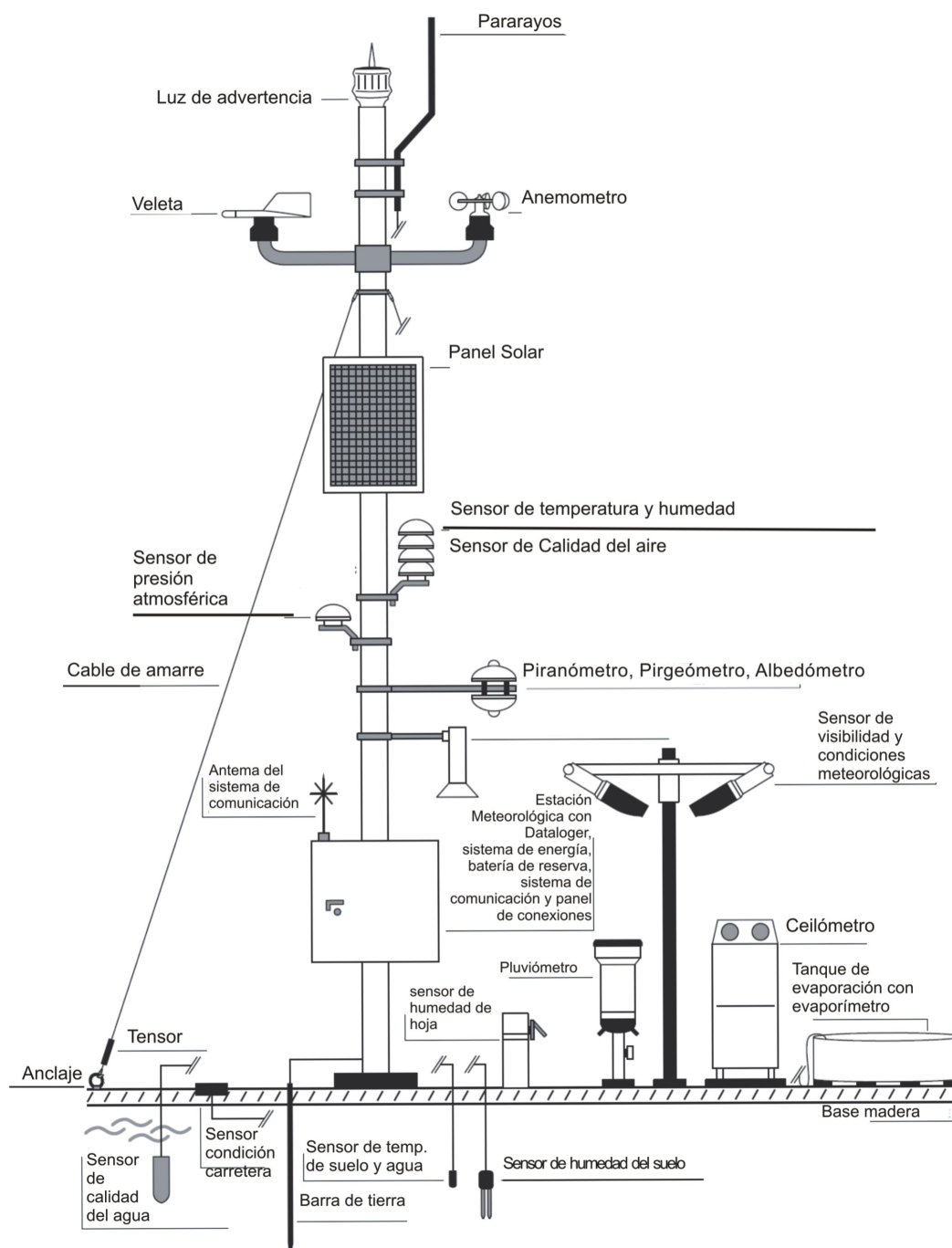


Figura 3.1: Principales componentes de una Estación Meteorológica Automática[9].

3.4. Registrador de datos o Datalogger

Para cada variable meteorológica existe un centro de recopilación de datos que se encarga de obtener la información de forma sistematizada y ordenada, de tal manera que no existan errores en el momento de la adquisición de datos.

El datalogger es el dispositivo central para el procesamiento de la información dentro de la estación meteorológica, el cual interactúa con cada uno de los sensores y recibe las diferentes lecturas que realizan los mismos para después almacenarlos generalmente en memoria y así realizar los cálculos necesarios que genera los datos finales.

En el desarrollo de este tema de tesis se establece tres dispositivos que cumplen con esta función: Raspberry Pi, Arduino y el microcontrolador PIC, cuyas características determinan un mejor funcionamiento para la adquisición de la información.

3.5. Temperatura

- **Descripción**

Dentro de la meteorología, su denominación general es Temperatura. La temperatura es la condición que determina la dirección del flujo neto de calor entre dos cuerpos. Señala el grado de intensidad de calor en un determinado territorio. El sensor utilizado para su medida es sonda de Temperatura[9].

- **Características**

La temperatura termodinámica (T) expresada en grados Kelvin es la temperatura básica. En meteorología se utiliza casi siempre la temperatura (t) expresada en grados Celsius definida por la ecuación:

$$t = T - 273,16 \quad (3.1)$$

Una diferencia de temperatura de un grado Celsius $^{\circ}\text{C}$ es igual a un grado Kelvin ($^{\circ}\text{K}$). En la escala termodinámica de temperaturas, las mediciones se expresan como diferencias respecto al cero absoluto (0°K), que es la temperatura en que las moléculas de cualquier sustancia carecen de energía cinética. Todas estas consideraciones se exponen en la Tabla 3.1.

- **Condiciones de emplazamiento**

- **Condiciones específicas por instrumento**

TEMPERATURA	Esp. Téc. Sensor	ASABE	KNMI	OET
Unidades	°C / °F	°C	°C / °F	°C / °F
Rango	-40° a +65° C	-30 a +50°C	-30 a +40°C	+5 a +45°C
Resolución	1°C.	0.1 °C	0.1 °C	0.1 °C
Precisión	±0.5°C	±0.3° C.	0.1° C a 0.5° C	0.2 °C
Altura de Medición (m)		1.5 a 3	2,	2,
Tiempo de Muestreo/Actualización (s)	10	<60	12	10
Tiempo para Promedio/Max/Min		1 hora	1 / 10 min y 6/ 12 horas	30min /24 horas

Tabla 3.1: Características de la Temperatura[11][9].

Los sensores para medir temperatura según la OMM se deben situar entre 1.25 y 2.00 metros de altura por encima del nivel del suelo, la ubicación habitual es de 1.5 metros. El sensor que se utiliza puede ser afectado perceptiblemente por la luz del sol, la radiación y fenómenos tales como precipitación, rocío, helada y viento. Por esta razón, se debe colocar dentro de un protector de radiación o una garita.

■ Condiciones de los alrededores del sitio

El mejor lugar para realizar las mediciones es por encima del nivel del suelo sin árboles o edificios cercanos. El terreno sobre el cual se deben realizar las medidas debe estar cubierto con hierba corta.

3.6. Humedad

• Descripción

Para su denominación común se utiliza Humedad Relativa. Esta se define como el contenido de vapor de agua en el aire. Humedad relativa equivale al porcentaje de humedad que contiene una masa de aire, en relación con la máxima cantidad de humedad que podría admitir sin producirse condensación, conservando las mismas condiciones de temperatura y presión atmosférica. Para su medición se utiliza un sensor de Humedad[9].

• Características

La unidad estándar para el Sistema Internacional es el porcentaje %, como se observa en la Tabla 3.2.

• Condiciones de emplazamiento

■ Condiciones específicas por instrumento

El sensor de humedad para los datos automáticos al estar integrado con el sensor de temperatura, comparte con este las mismas condiciones de em-

HUMEDAD	ASABE	KNMI	OET
Unidades	%	%	%
Rango	10 a 100 %	5 a 100 %	5 a 100 %
Resolución	1 %	1 %	1 %
Precisión	$\pm 3\%$ a $\pm 5\%$	$< 3\%$	3 %
Altura de Medición (m)	1.5 a 3		2,
Tiempo de Muestreo/Actualización (s)	< 60	12	10
Tiempo para Promedio/MaxlMin	1 hora	1 / 10 min	30min / 24 horas

Tabla 3.2: Características de la Humedad[11][9].

plazamiento, según la OMM, y se deben situar entre 1.25 y 2.00 metros de altura por encima del nivel del suelo, la ubicación más usual es de 1.5 metros. El sensor que se utiliza puede ser afectado perceptiblemente por la luz del sol, la radiación y fenómenos tales como precipitación, rocío, helada y viento, por esta razón, se debe resguardar dentro de un protector de radiación. El otro sensor manual debe compartir las características de altura y protección igual que el sensor automático nada más que este debe estar ubicado dentro de la garita.

■ Condiciones de los alrededores del sitio

El mejor lugar para realizar las mediciones es por encima del nivel del suelo sin árboles o edificios cercanos. El terreno sobre el cual se deben realizar las medidas debe estar cubierto con hierba corta.

3.7. Viento

• Descripción

El nombre general de esta variable es Viento en superficie. La circulación atmosférica de la Tierra da lugar a los grandes sistemas de vientos planetarios. La distancia que recorre el aire en movimiento por unidad de tiempo es la velocidad del viento. La dirección del viento está determinada por el punto de donde procede y al cual se dirige para ser registrada mediante una veleta. La velocidad del viento es un promedio que se calcula tomando en cuenta, tanto la velocidad normal del viento y su dirección de desplazamiento. Para su medición se utiliza el Anemómetro[9].

• Características

Las unidades reconocidas por el Sistema Internacional son: velocidad del viento

VELOCIDAD DE VIENTO	Esp. Téc. Sensor	ASABE	KNMI	OET
Unidades	mis	mis	m/s	m/s
Rango	0.5 to 89 mis	0.5 a 10 mis	0 - 70 mis	0 a 70 m/s
Resolución	1mis	0.5 m/s	1 m/s	0.5 m/s
Precisión	1m/s	±3 m s	±0.5 m/s para 5 5 m/s±10% para >5 m/s	±0.5 m/s para 5 5 m/s±10% para >5 m/s
Altura de Medición (m)		2 a 3	6 a 10	10
Tiempo de Muestreo/Actualización (s)	2,	<10	0.25	10
Tiempo para Promedio/Max/Min		1 hora	3 s / 1 min / 10 min	30min / 24 horas

Tabla 3.3: Características de la Velocidad de Viento[11][9].

DIRECCIÓN DE VIENTO	Esp. Tec. Sensor	ASABE	KNMI	OET
Unidades	deg	deg	deg	deg
Rango	0 a 360 deg	0 a 360 deg	0 a 360 deg	0 a 360 deg
Resolución	1 deq	5 deq	10 deq	10 deq
Precisión	±7 deg	±3 a ±5 deg	±5 deg	±5 deg
Altura de Medición (m)		2 a 3	6 a 10	10
Tiempo de Muestreo/Actualización (s)	1	<10	12	10
Tiempo para Promedio/Max/Min		1 hora	1 min / 10 min	30min / 24 horas

Tabla 3.4: Características de la Dirección de Viento[11][9].

[m/s], dirección del viento [grados] y ráfaga del viento [m/s]. Estas características se exponen en las Tablas 3.3 y 3.4.

• Condiciones de emplazamiento

■ Condiciones específicas por instrumento

La altura estándar de los anemómetros utilizados sobre un terreno llano y abierto es de 10 metros.

■ Condiciones de los alrededores del sitio

El terreno abierto es una zona donde la distancia entre el anemómetro y cualquier obstáculo es al menos 10 veces superior a la altura del obstáculo, es muy importante tratar de encontrar un emplazamiento óptimo para que el viento sea representativo para el lugar. Cuando no se puede encontrar una exposición estándar el anemómetro puede instalarse a una altura de 10 m tal que sus mediciones no se vean afectadas por los obstáculos locales, pero en general, no se ha determinado una regla que funcione para estos casos.

3.8. Precipitación

• Descripción

Esta variable se denomina comúnmente como Precipitación y es el volumen de agua que ha caído por unidad de superficie, es decir, la cantidad de lluvia que recibe un lugar en un tiempo determinado. El sensor utilizado es el Pluviómetro[9].

PLUVIOSIDAD	Esp. Téc. Sensor	KNMI	OET
Unidades	mm	mm	mm
Rango	0 a 999.8 mm	0 a >400 mm	0 a >400 mm
Resolución	0.2 mm	0.1 mm	0.2 mm
Precisión		$\pm 0.1\text{mm}$ para 5mm y $\pm 2\%$ para >5mm	$\pm 0.1\text{mm}$ para 5mm y $\pm 2\%$ para >5mm
Altura de Medición (m)			1.5
Tiempo de Muestreo/Actualización (s)	16	12	30min
Tiempo para Promedio/Max/Mín		1 / 10 min	30min / 124 horas

Tabla 3.5: Características de la Precipitación[11][9].

- **Características**

La unidad de la precipitación es la profundidad lineal normalmente en milímetros para la precipitación líquida. Las características de esta variable se encuentran en la Tabla 3.5.

- **Condiciones de emplazamiento**

- **Condiciones específicas por instrumento**

El sensor debe estar ubicado en un lugar plano libre de obstáculos. La boca del sensor se debe de mantener a 1.5 metros sobre el suelo.

- **Condiciones de los alrededores del sitio**

La distancia del aparato de medición a los obstáculos próximos (árboles, paredes, edificios, etc.) debe ser por lo menos dos veces y preferiblemente cuatro veces la altura del obstáculo sobre el plano del borde superior del pluviómetro. El terreno sobre el cual se están realizando las medidas debe estar cubierto con hierba corta.

3.9. Radiación Solar

- **Descripción**

El nombre comúnmente usado para denominar esta variable es Radiación. La radiación solar es la energía proveniente del sol recibida por la tierra, una parte penetra la atmósfera mientras que otra es dispersada y/o absorbida. La radiación global es la suma de la radiación directa y la radiación difusa (reflejada). El sensor utilizado para su medición es el Piranómetro[9].

- **Características**

La magnitud que mide la radiación solar que llega a la Tierra es la irradiancia, esta mide la energía que por unidad de tiempo y área alcanza a la Tierra. Su unidad es el W/m^2 (vatio por metro cuadrado). Para el total del flujo de radiación se utiliza MJ/m^2 (mega julios por metro cuadrado). Las características principales

RADIACIÓN SOLAR	Esp. Téc. Sensor	ASABE	OET
Unidades	W/m^2	W/m^2	W/m^2
Rango	0 a 1800 W/m^2	0 a 1500 W/m^2	0 a 1373 W/m^2
Resolución	1 W/m^2	5 W/m^2	5 W/m^2
Precisión	$\pm 5\%$	$\pm 3\%$ a $\pm 5\%$ OR	$\pm 2\%$ a $\pm 5\%$ OR
Altura de Medición (m)			3
Tiempo de Muestreo/Actualización (s)	50 s a 1min	<10	10
Tiempo para Promedio/Max/Min		1 hora	30min / 24 horas

Tabla 3.6: Características de la Radiación Solar[11][9].

para la radicación solar se especifican en la Tabla 3.6.

- **Condiciones de emplazamiento**

- **Condiciones específicas por instrumento**

- El sensor debe estar ubicado en un lugar plano libre de obstáculos. La boca del sensor se debe de mantener a 1.5 metros sobre el suelo.

- **Condiciones de los alrededores del sitio**

- La distancia del aparato de medición a los obstáculos próximos (árboles, paredes, edificios, etc.) debe ser por lo menos dos veces y preferiblemente cuatro veces la altura del obstáculo sobre el plano del borde superior del pluviómetro. El terreno sobre el cual se están realizando las medidas debe estar cubierto con hierba corta.

3.10. Presión Atmosférica

- **Descripción**

El nombre comúnmente usado para denominar esta variable es Presión Atmosférica. La presión atmosférica es la fuerza que ejerce el peso del aire sobre cada unidad de superficie terrestre. El sensor utilizado para su medición es el Barómetro[9].

- **Características**

Las principales características para la Presión Atmosférica a considerar se presentan en la Tabla 3.7.

- **Condiciones de emplazamiento**

- **Condiciones específicas por instrumento**

- Se debe ubicar el sensor en un lugar plano libre de obstáculos, en la parte alta de la estación comúnmente a 3 m. pero si se requiere se puede colocar a mayor altura. El sensor se debe colocar en un brazo totalmente nivelado,

PRESIÓN ATMOSFÉRICA	KNMI	OET
Unidades	hPa	hPa
Rango	920 a 1080 hPa	980 a 1080 hPa
Resolución	0.1 hPa.	0.1 hPa.
Precisión	0.1 hPa.	± 0.3 hPa.
Altura de Medición (m)	1.5	1.25 a 2
Tiempo de Muestreo/Actualización (s)	12	30 min
Tiempo para Promedio/Max/Min	1 / 10 min	30min 124 horas

Tabla 3.7: Características de la Presión Atmosférica[11][9].

este brazo ya sea que se encuentre unido a una torre o un trípode se debe colocar en dirección norte sur.

■ **Condiciones de los alrededores del sitio**

El lugar donde se coloque debe estar lejos de paredes techos u otros objetos brillantes que reflejen la luz del sol. Si es posible que no haya ningún tipo de obstrucción sobre el plano del sensor mayor a 5° de inclinación, particularmente dentro del azimut (ángulo en el horizonte en relación a un punto cardinal donde nace o se oculta una estrella).

Capítulo 4

Diseño de la arquitectura y variantes para el Sistema de Adquisición de Datos

4.1. Descripción del diseño para variables meteorológicas

El diseño y la implementación del sistema se basa en un [SAD](#) utilizado para las estaciones meteorológicas de SENAGUA, que poseen generalmente marcas como Campbell y sensores SIAP+MICROS como se observa en la Figura 4.1. De esta manera se propone el diseño de dos dispositivos que funcionan a manera de maestro-esclavo. Un dispositivo esclavo que se encarga de la adquisición y procesamiento de la señal para el sensor en el que se encuentre ubicado. El dispositivo maestro es el encargado de gestionar y sincronizar la información para cada uno de los sensores de acuerdo al tiempo de muestreo necesario. En las estaciones este dispositivo maestro es conocido como Data-logger como es mostrado en la Figura 4.2 y dentro del [SAD](#) está representado por las tres tecnologías mencionadas en el presente estudio: Microcontrolador PIC, Arduino y Raspberry PI. Primero se consideran los sensores, cuyas variables meteorológicas a medir son: temperatura, humedad, velocidad de viento, dirección de viento, radiación solar y precipitación. Estos se obtuvieron de las estaciones de campo y fueron analizadas mediante la instrumentación de cada sensor, ya que es necesario adaptar de manera estándar a las especificaciones del dispositivo esclavo en el [SAD](#).

Para la adquisición de las variables meteorológicas disponibles en cada sensor se hace el uso de dos canales dentro del dispositivo esclavo. El primer canal es para señales



Figura 4.1: Elementos que conforman la estación SIAP+MICROS[10].

analógicas se digitalizan a través de un [ADC](#) de 22 bits. Este elemento brinda una resolución que se obtiene a partir del rango de medición en cada transductor de carácter analógico y se encuentra dado por:

$$R = \frac{R_M}{R_{ADC}} = \frac{\text{Rango de medición para el sensor (V)}}{2^{22}(\text{bits})} \quad (4.1)$$

R : Resolución (V)

R_M : Rango de medición (V)

R_{ADC} : Resolución del [ADC](#) de 22 bits (b)

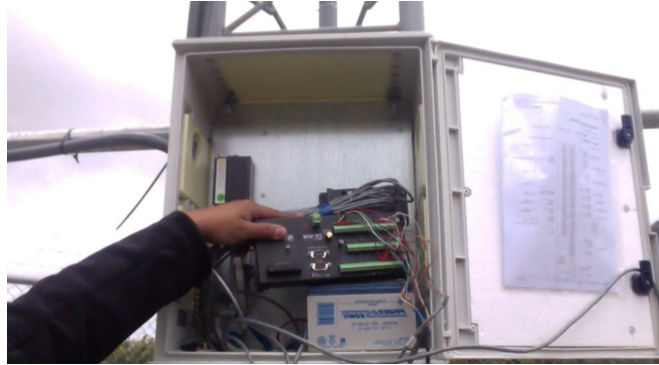


Figura 4.2: Datalogger Campbell para la estación ubicada en el sector de Uchucay.

Este valor nos permite saber que variación debe existir en la entrada analógica para que el **ADC** escale un valor digital en la salida. De esta forma se puede generalizar una fórmula para el cálculo de las variables meteorológicas analógicas a partir de los valores en el **ADC**. En primera instancia es importante obtener el valor de un factor de medición del sensor que relaciona el rango que puede medir el sensor con el número de valores posibles en la conversión.

$$F_S = \frac{R_S}{2^{22}} \quad (4.2)$$

R_S : Rango de medición del sensor

F_S : Factor de medición del sensor

Para calcular el valor de la variable meteorológica medida se tiene que,

$$V_{VM} = V_{ADC} F_S - V_{TI} \quad (4.3)$$

V_{VM} : Valor de la variable meteorológica medida

V_{ADC} : Valor digital del **ADC** en el rango de $0 - 2^{22}$ bits

F_S : Factor de medición del sensor

V_{TI} : Valor del límite inferior mínimo dentro del rango para la variable meteorológica

El segundo canal es para señales procedentes de transductores con señales discretas que realiza un proceso de saturación y filtrado del ruido. El tratamiento y captura de las variables como datos e información está a cargo de un microcontrolador, que utiliza un reloj externo a tiempo real para un registro instantáneo de las mediciones. Los datos se almacenan en memorias seriales externas incorporadas al dispositivo de adquisición esclavo.

Una vez realizada la adquisición y procesamiento de datos de cada sensor transmite los datos hacia el dispositivo maestro o concentrador. Este dispositivo se encarga de obtener la información de todos los dispositivos esclavos ubicados en los sensores dependiendo de la variable meteorológica y su tiempo de muestreo. Así entonces, se sincroniza la transmisión de datos para después ser almacenados en un medio de almacenamiento masivo como una memoria [SD](#). El dispositivo concentrador cuenta con conectividad Ethernet mediante la asignación de una dirección IP. En la Figura 4.3 se puede observar el diagrama de bloques con los elementos que conforman la *Estación Meteorológica Automática (EMA)*.

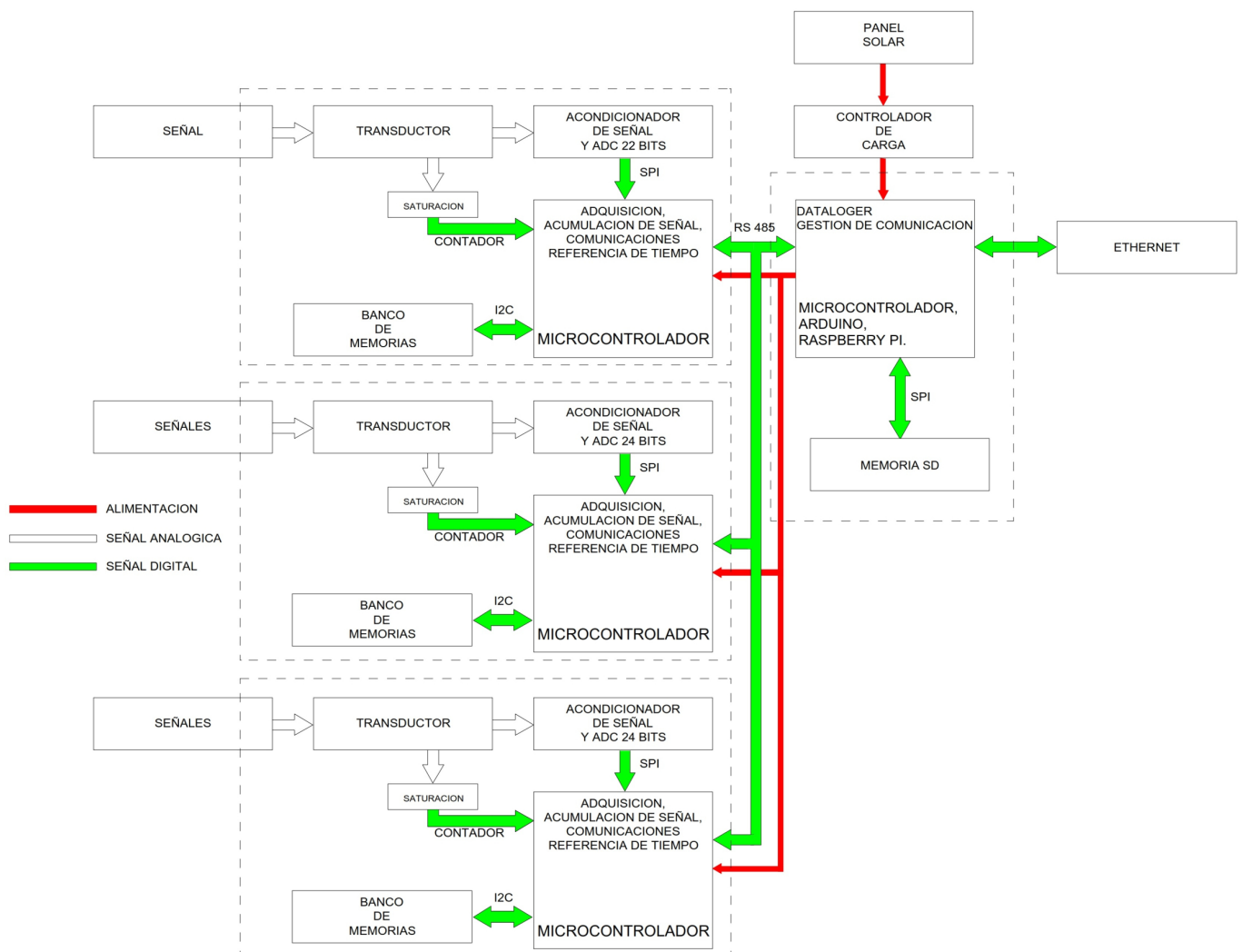


Figura 4.3: Diagrama de bloques correspondiente al diseño del [SAD](#).

4.2. Instrumentación y medición de variables meteorológicas

La instrumentación se refiere a las técnicas, los recursos, y métodos asociados con la concepción de dispositivos para mejorar o incrementar la eficacia de los mecanismos de percepción y comunicación del hombre.

Dentro de las estaciones meteorológicas se encuentran diferentes conjuntos de instrumentos para la medición de las variables meteorológicas conocidos como sensores. Estos entregan señales eléctricas acordes al tipo de sensor utilizado para convertir una magnitud física, siendo así necesario, el estudio de la obtención de estas señales para su posterior acondicionamiento y adquisición.

Cuando se escogen los instrumentos, en particular para un sistema de proceso de datos y transmisión conexos, deben adoptarse los principios de vigilancia del clima. Al cumplir con estos principios, deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

- La fiabilidad.
- La idoneidad para la estación en la que se utilizan.
- La exactitud.
- La simplicidad del diseño.
- Los motivos para la realización de observaciones.

Para que un instrumento sea fiable, es preciso que funcione siempre conforme a los requisitos de su diseño. Los instrumentos que no son dignos de confianza conducen a lagunas en los datos, sesgos y otras faltas de homogeneidad. Los instrumentos fiables deben ser lo suficientemente sólidos como para resistir a una serie de fenómenos meteorológicos y físicos extremos que pueden producirse en el emplazamiento y probablemente al manejo inherente a las observaciones manuales. La elección de todos los instrumentos se hacen buscando el nivel alto de exactitud y precisión que se requiere para fines climatológicos.

Las características comunes a todos los sensores SIAP+MICROS son:

- Conformidad con los estándares OMM (Organización Meteorológica Mundial).
- Cuerpo fabricado en materiales robustos y resistentes a los agentes atmosféricos tales como ABS y/o aluminio.
- Conformidad con la directiva de compatibilidad electromagnética EMC (2008/104/CE).

- Son disponibles en las versiones con salidas normalizadas naturales, $4\div 20$ mA, $0\div 2$ V y/o RS485 compatible con la mayoría de dispositivos de adquisición presentes sobre el mercado.

A continuación se describen la instrumentación de los sensores utilizados para el diseño del [SAD](#).

4.2.1. Sensor de Temperatura

Generalmente en la medición de la temperatura se utiliza como transductor una resistencia térmica o *Resistive Temperature Detector* (RTD) y termopilas. Los RTD son transductores de temperatura resistivos que se basan en el efecto de la temperatura en la conducción de los electrones, sabiendo que el aumento de temperatura genera una mayor agitación térmica, como se visualiza en la Figura 4.4. Esto genera que los electrones se dispersen, lo cual reduce el flujo de los mismos, es decir, ante el aumento de la temperatura existe aumento de la resistencia eléctrica.

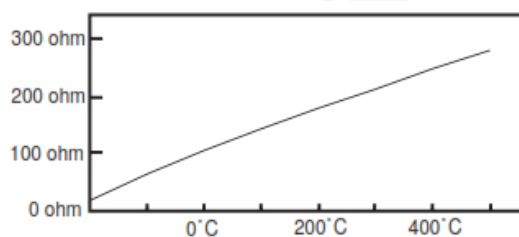


Figura 4.4: Aumento de la resistencia de acuerdo a la temperatura.

Por otro lado, un termopar es un transductor que se forma a partir de la unión de dos metales distintos que producen un voltaje, el cual depende directamente de la diferencia de temperatura de sus extremos. Un extremo se denomina punto caliente o de medida, mientras el otro extremo es conocido como punto frío o referencia. El sensor utilizado para la medición es un transductor combinado de temperatura y humedad relativa, modelo t026 TTEPRHI de la marca SIAP+MICROS que se observa en la Figura 4.5. Este se encuentra revestido por un armazón de plástico que protege al sensor de la radiación y otros fenómenos que le afecten. Sus características principales se presentan en la Tabla 4.1.

El principio de funcionamiento para el sensor se encuentra basado en una termopila, que contiene un termistor de platino Pt100 con curva de respuesta de acuerdo a la norma DIN 43760 clase 1/3, proporcional a la temperatura. Las conexiones para las entradas y salidas se pueden observar en la Figura 4.6.

Temperatura del Aire	
Rango de medición	-30 ÷ +60 °C
Sensibilidad	0,03 °C
Precisión	DIN47360 Clase 1/3 (ver. TTEPRH-N) ±0,1 °C (TTEPRH-I/V/S)
Elemento sensible	Termo-resistencia Pt100 DIN47360
Características comunes	
Temperatura de funcionamiento	-30 ÷ +60 °C

Tabla 4.1: Especificaciones técnicas del sensor de Temperatura.



Figura 4.5: Sensor de Temperatura y Humedad Relativa.

Para la medición y escalamiento de la temperatura se realizó el cálculo de la resolución obtenido en 4.1 para la digitalización de la señal de la siguiente manera:

$$R = \frac{5V}{2^{22}} = 0,000001192V \approx 1,19\mu V/b \quad (4.4)$$

De acuerdo al cálculo, debe existir una variación de $0,596\mu V/b$ para que el ADC escale otro valor digital en el rango de $0 - 2^{22}$ bits. Para determinar el valor de la temperatura se parte de 4.2 y 4.3, donde:

$$F_S = \frac{60 - (-30)^{\circ}C}{2^{22}} = 0,000021457^{\circ}C/b \quad (4.5)$$

$$T = V_{ADC} \cdot 0,000021457 - 30 \quad (4.6)$$

T : Temperatura

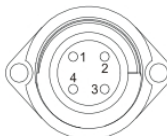
	Pin 1	Pin 2	Pin 3	Pin 4	Pin 5	Pin 6	Pin 7
 TTEPRH-N	Alim. 10÷16Vdc	RH% +0÷1Vdc	RH% -0÷1Vdc	Alim. GND	Temp. I+	Temp. V+	Temp. I-; V-
 TTEPRH-IV/S	Alim. 10÷16Vdc	OUT TEMP +4÷20mA	OUT RH% +4÷20mA	GND Alim. GND Signal			
	Alim. 10÷16Vdc	OUT TEMP +0÷2Vdc	OUT RH% +0÷2Vdc	GND Alim. GND Signal			
	Alim. 10÷16Vdc	B-RS485	A-RS485	GND Alim. GND Signal			

Figura 4.6: Diagrama de pines para la conexión del sensor de Temperatura[10].

V_{ADC} : Valor digital del ADC entre 0 – 2^{22} bits

F_S : Factor de sensor

4.2.2. Sensor de Humedad

Dentro de los instrumentos que existen para la medición de la humedad relativa se puede citar diferentes tipos. A continuación se describen según el principio de funcionamiento:

- Los transductores mecánicos aprovechan los cambios de dimensiones que sufren ciertos tipos de materiales en presencia de la humedad. Como por ejemplo: fibras orgánicas o sintéticas, el cabello humano, etc.
- Las sales higroscópicas calculan el valor de la humedad en el ambiente a partir de una molécula cristalina que tiene mucha afinidad con la absorción de agua.
- Los transductores de conductividad. La presencia de agua en un ambiente permite que a través de unas rejillas de oro circule una corriente. Ya que el agua es perfecta conductora de corriente. Según la medida de corriente se deduce el valor de la humedad.
- Los transductores capacitivos se basan sencillamente en el cambio de la capacidad que sufre un condensador en presencia de humedad.
- Los sensores infrarrojos disponen de dos fuentes infrarrojas que absorben parte de la radiación que contiene el vapor de agua.

Como anteriormente se mencionó, se utilizó un sensor de temperatura y humedad de la marca SIAP+MICROS, mostrada en la Figura 4.5.

El sensor de humedad es un elemento capacitivo con una delgada película. Una capa de polímero dieléctrico absorbe las moléculas de agua en el aire a través de un electrodo de metal delgado que provoca un cambio en la capacitancia proporcional a la humedad relativa. Este se encuentra protegido por un conjunto de platos que permite el ingreso

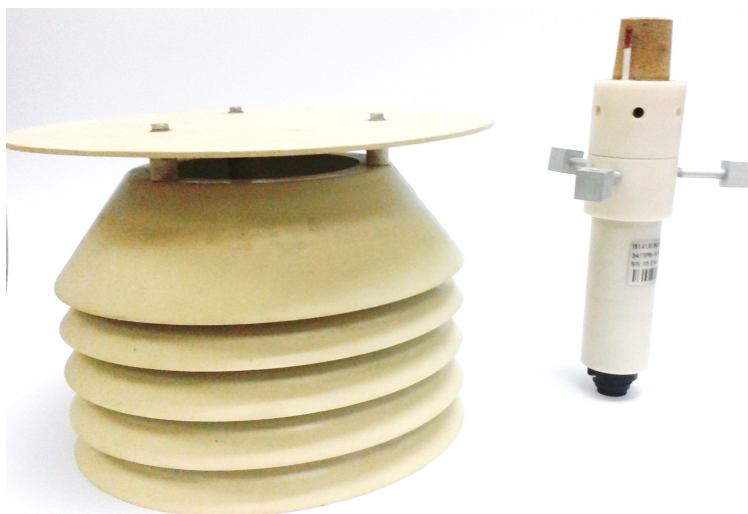


Figura 4.7: Transductor de humedad capacitivo modelo t026 de la marca SIAP+MICROS.

Humedad relativa	
Rango de medición	0 ÷ 100 % RH
Sensibilidad	±0,5 % RH
Precisión	±2 % RH
Elemento sensible	Polímero Capacitivo compensado en temperatura
Características comunes	
Temperatura de funcionamiento	-30 ÷ +60 °C

Tabla 4.2: Especificaciones técnicas del sensor de Humedad Relativa.

del vapor de agua en el ambiente hacia el sensor. La Tabla 4.2 indica sus principales características[30].

También se realizó pruebas con el sensor de humedad modelo t026 TTEPRHI de la marca SIAP+MICROS, en donde se pudo verificar que el transductor es un elemento capacitivo que cuenta con un proceso termostático tal como se observa en la Figura 4.7. Este proceso mantiene al transductor a una temperatura constante para obtener una medición más exacta de la humedad en el ambiente. El conjunto de conexiones dentro del sensor se indican en la Figura 4.8. Al igual que el transductor de temperatura, la salida varía en un rango de 0 – 2,5V, debido a que el transductor de humedad relativa está dentro del mismo sensor.

$$R = \frac{5V}{222} = 0,000001192V \approx 1,19uV/b \quad (4.7)$$

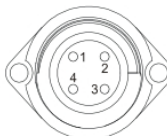
	Pin 1	Pin 2	Pin 3	Pin 4	Pin 5	Pin 6	Pin 7
 TTEPRH-N	Alim. 10÷16Vdc	RH% +0÷1Vdc	RH% -0÷1Vdc	Alim. GND	Temp. I+	Temp. V+	Temp. I-; V-
 TTEPRH-IV/S	Alim. 10÷16Vdc	OUT TEMP +4÷20mA	OUT RH% +4÷20mA	GND Alim. GND Signal			
	Alim. 10÷16Vdc	OUT TEMP +0÷2Vdc	OUT RH% +0÷2Vdc	GND Alim. GND Signal			
	Alim. 10÷16Vdc	B-RS485	A-RS485	GND Alim. GND Signal			

Figura 4.8: Diagrama de pines para la conexión del sensor de Humedad Relativa[10].

De acuerdo al cálculo, debe existir una variación de $0,596 \mu V/b$ para que el ADC escale otro valor digital en el rango de $0 - 2^{22}$. Para determinar el valor de la temperatura se parte de 4.2 y 4.3, donde:

$$F_S = \frac{100 - (0) \%}{2^{22}} = 0,0000238 \% / b \quad (4.8)$$

$$\%H = V_{ADC} \cdot 0,0000238 \quad (4.9)$$

$\%H$: Humedad relativa

V_{ADC} : Valor digital del ADC entre $0 - 2^{22}$ bits

F_S : Factor de sensor

4.2.3. Sensor de Presión Atmosférica

Los barómetros son instrumentos que miden la presión atmosférica absoluta. Estos se basan en señales eléctricas, aunque su funcionamiento para la medición de la presión está fundamentado en la deformación o elongación de un material elástico conductor por la acción de una fuerza transmitida en una membrana elástica. Cuando un conductor eléctrico se estira por la acción de una fuerza, se produce un aumento de su longitud y disminuye su sección, con lo que varía la resistencia eléctrica, que se puede medir mediante un puente de Wheastone. En este tipo de transductores, el circuito eléctrico es necesariamente de corriente continua.

Los transductores de presión piezoresistivos usan un cristal semiconductor (normalmente silicio) en lugar de conductores eléctricos convencionales. En este caso la elongación o deformación de un cristal semiconductor en el seno de un campo magnético perpendicular produce un cambio de frecuencia resonante, detectada cuando se conecta el cristal en un circuito de corriente alterna. Estos transductores presentan la ventaja de ser pequeños y producir señales analógicas de potencial muy superiores

Rango de medición	700 ÷ 1100 mb (hPa)
Precisión	TBAR-I/V : $\pm 0,9$ mb (hPa) TBAR-S : $\pm 0,4$ mb (hPa)
Sensibilidad	0,1 mb (hPa)
Linealidad	$\pm 0,3$ mb (hPa)
Transductor	Semiconductor
Temperatura de funcionamiento	-30 ÷ +60 °C

Tabla 4.3: Especificaciones técnicas del sensor de Presión Atmosférica.

respecto a los convencionales.

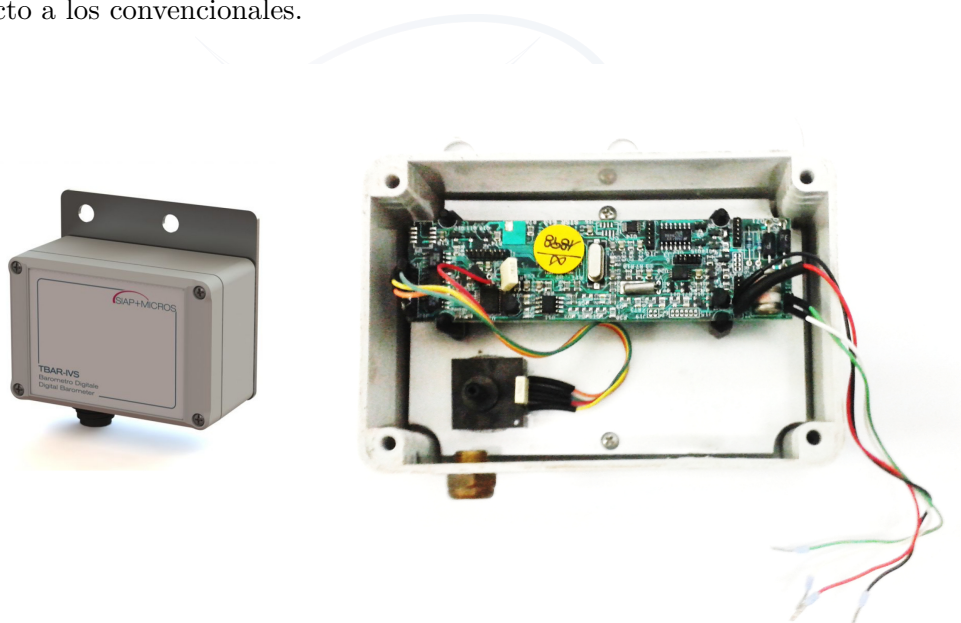


Figura 4.9: Sensor de presión atmosférica SIAP+MICROS.

El sensor utilizado para la medición es el modelo t011d de la marca SIAP+MICROS que se visualiza en la Figura 4.9, cuyo funcionamiento se basa en un puente piezoresistivo de salida lineal. Para optimizar la medición, el sensor está provisto de un control electrónico interno que compensa automáticamente las variaciones en la temperatura, garantizando una buena precisión. Las características del sensor de presión se observan en la Tabla 4.3.

En la Figura 4.10 se observa las conexiones pertinentes al sensor donde su alimentación varía entre 7 y 30 V. Este tipo de sensores entregan una señal analógica en un

	Pin 1	Pin 2	Pin 3	Pin 4	Pin 5	Pin 6	Pin 7
 Connettori 7poli maschio (IP67) – Visto da sotto Conector 7 polos macho (IP67) – Vista desde abajo	A-RS485	B-RS485	+0÷2Vdc	+4÷20mA	-0÷2Vdc -4÷20mA	+7÷30Vdc (alm.)	GND (alm.)

Figura 4.10: Diagrama de pines para la conexión del Barómetro[10].

rango de medición entre 0 y 2 V que contiene su rango de medición para su posterior tratamiento.

4.2.4. Sensor de Pluviosidad

Generalmente, el sensor de pluviosidad dentro de las estaciones meteorológicas consiste en un recipiente de entrada, por donde el agua ingresa a través de un embudo hacia el colector de lluvia o balancín que recolecta el agua. Para la medición de la precipitación, se realiza el conteo del número de cambios de posición del balancín mediante pulsos al recolectar una determinada medida que generalmente es 0.2 mm, como un volumen unitario de agua.

El pluviómetro utilizado fue el sensor de precipitación modelo t027 TP1K de la estación SIAP+MICROS como se observa en la Figura 4.11. Este incorpora un colector de lluvia tipo recipiente volcable, compuesto por un balancín que mide 0.01"por cada vuelco del recipiente. Este cambio del balancín genera un pulso magnético a través de un Reed Switch, que es un contacto magnético abierto. Existen diversas formas de calcular la variable de precipitación mediante un sistema contador de pulsos de acuerdo al tiempo: tormenta lluviosa, lluvia diaria, lluvia mensual y lluvia anual. Además, se puede instalar un adaptador métrico para medir 0.2 mm de lluvia por cada vuelco del recipiente. Las características técnicas se especifican en la Tabla 4.4.

Para obtener el valor correspondiente a la cantidad de lluvia, el procedimiento varía con respecto a los sensores analógicos. En este caso, la señal es de carácter digital, dada por el número de pulsos generados al cerrar el contacto magnético en el balancín diariamente. Este se puede observar en la Figura 4.13, donde:

$$P_D = N_{PULSOS} \cdot 0,2mm \quad (4.10)$$

P_D : Precipitación diaria

N_{PULSOS} : Número de pulsos diarios generados por el balancín



Figura 4.11: Sensor de pluviosidad SIAP+MICROS.

Rango de medición	TP1K-N : Ilimitado TP1K-I/V : 0,82 mm TP1K-S : Ilimitado
Precisión	$\pm 2\%$, 0÷60mm/h $\pm 5\%$, 60÷200mm/h $\pm 7\%$, 200÷300mm/h
Elemento sensible	Bacula oscilante a hoja de cuchillo
Temperatura de funcionamiento	0 ÷ 70 °C
Constante instrumental	0,2 mm/imp
Sensibilidad	0,2 mm

Tabla 4.4: Especificaciones técnicas del sensor de Pluviosidad.

4.2.5. Sensor de Viento

La intensidad del viento es una cantidad vectorial que tiene dirección y magnitud, esta es considerada en términos de tres componentes, ubicándose dos de ellas en un plano paralelo a la superficie de la Tierra, y la tercera perpendicular a ese plano. Con fines meteorológicos la componente vertical es despreciada, considerándose por lo tanto el viento en superficie como una cantidad vectorial en dos dimensiones.

Las variaciones del viento están sujetas a cambios tanto en período, como en amplitud. Esto se debe a que el flujo del aire conocido como viento no es laminar. El viento sobre la superficie de la tierra es turbulento. La orografía de la Tierra es el principal

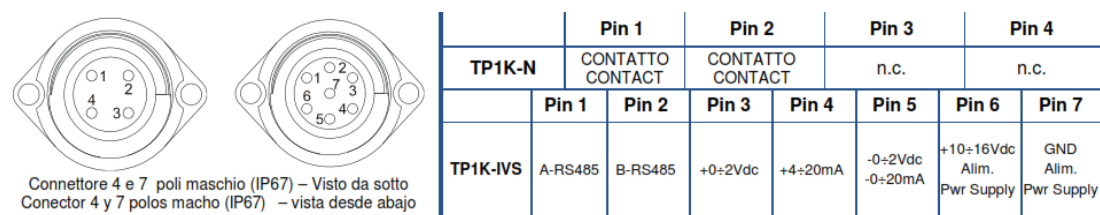


Figura 4.12: Diagrama de pines para la conexión del sensor de Pluviosidad[10].



Figura 4.13: Pluviómetro de balancín marca SIAP+MICROS.

factor que determina la estructura turbulenta del viento. En la Tabla 4.5 se presenta la escala de Beafort con respecto a la fuerza del viento. El sensor utilizado para la instrumentación es el modelo t0008 TVDV de la marca SIAP+MICROS. Este se basa en dos transductores para la medición como se puede observar en la Figura 4.14.

- **Dirección del viento.** El transductor está constituido por un potenciómetro de tipo profesional con características de alta fiabilidad y larga duración.
- **Velocidad del viento.** El transductor está constituido por un sensor magnético de efecto Hall y por un imán toroidal a parejas polares.

La disposición para las conexiones de alimentación y de entrada salida se detalla en la Figura 4.15.

• Sensor de velocidad del viento (anemómetro)

El principio de funcionamiento del sensor de velocidad se basa en un contacto magnético abierto que genera un pulso senoidal colocado en el eje giratorio del instrumento, tal y como se observa en la Figura 4.14. La señal de salida senoidal



Figura 4.14: Sensor de Dirección y Velocidad del Viento marca SIAP+MICROS[10].

Número Beafort	Descripción	Velocidad Viento en Nudos	Equivalente m/s	Especificaciones para observaciones en Superficie
0	Calma		0 – 0.2	Calma el humo sube verticalmente
1	Ventolina	1 – 3	0.3 – 1.5	Se define la dirección por el humo, pero no por veletas
2	Brisa suave	4 -6	1.6 – 3.3	El viento se siente en la cara; se mueven las hojas de los árboles; el viento mueve a las veletas.
3	Brisa leve	7 – 10	3.4 -5.4	Las hojas y ramas pequeñas se hallan en constante movimiento
4	Brisa moderada	11 - 16	5.5 - 7.9	Se levantan polvo y papeles sueltos se mueven las ramas pequeñas de los árboles.
5	Brisa fresca	17 - 21	8.0 - 10.7	Se mueven los árboles pequeños; se forman pequeñas olas en estanques y lagunas
6	Brisa fuerte	22 - 27	10.8 - 13.8	Se mueven las ramas grandes de los árboles; silban los cables telefónicos; los paraguas se utilizan con dificultad.

Tabla 4.5: Escala de Beafort para la medición del viento[12].

oscila entre los 100mV pico a pico, que son generados por cada Hz de frecuencia a la que gira el anemómetro, y cada Hz equivale a 0.75 m/s. Estas características se detallan en la Tabla 4.6.

Para obtener el valor correspondiente a la velocidad del viento, el anemómetro convierte el giro de las aspas en un conjunto de pulsos que permiten establecer un conteo. Estos pulsos aumentan acorde a la velocidad con la que giran las aspas, es decir, el ancho de pulso varía como la frecuencia con la que se generan al abrir y cerrar un switch magnético de estado sólido. Al obtener la frecuencia se puede calcular la velocidad conforme la especificación técnica de la hoja de datos, donde:

$$V_V = \frac{P \cdot 2,25}{T} \quad (4.11)$$

V_V : Velocidad del Viento en mph

P : Numero de pulsos por muestra en el anemómetro

T : Periodo de muestreo en segundos

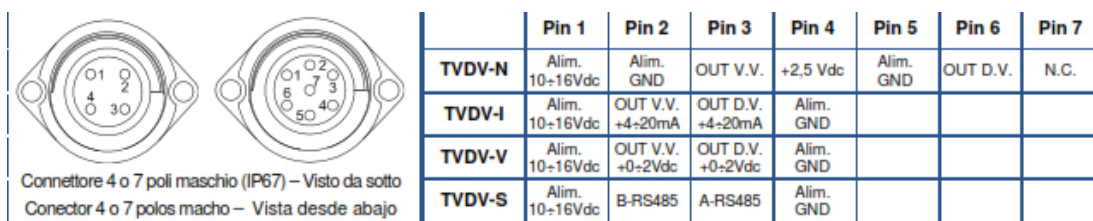


Figura 4.15: Diagrama de pines para la conexión del sensor de Viento [10].

Velocidad del Viento	
Rango de medición	0,25 ÷ 50 m/s
Sensibilidad	0,1 m/s
Precisión	±0,25 m/s (0÷20m/s)
±0,7 m/s (>20m/s)	
Transductor	3 copas con transductor magnético
Constante instrumental	2,44 Hz/m/s
Características comunes	
Temperatura de funcionamiento	-30 ÷ +60 °C

Tabla 4.6: Especificaciones técnicas del anemómetro.

En el análisis de la señal del anemómetro se observa que cada pulso generado se compone por un conjunto de pulsos menores que indican el límite máximo para el ancho de pulso apreciable. Esto puede ser un inconveniente en el momento de la de la adquisición para su conteo, debido a que no son detectados. Para evitar esta pérdida de información posteriormente se realiza la adecuación de la señal mediante su saturación.

• Sensor de dirección del viento (veleta)

El funcionamiento del sensor para medir la dirección del viento consiste en un potenciómetro de 20 KΩ de resistencia que varía su valor de manera proporcional al ángulo al cual se encuentra, y genera como salida un voltaje proporcional a la dirección del viento. El voltaje de salida del sensor se encuentra acotado por el voltaje de alimentación, es decir el voltaje máximo a 355° que será el mismo que el voltaje de alimentación.

El sensor puede medir de 0 a 355°, siendo 5° de zona muerta, por lo que 0 VDC representan 0°, y 5 VDC representan 355° cuando el voltaje de alimentación es 5 VDC. En la zona muerta que comprende de 356,1° - 360° el circuito se comporta como abierto y el voltaje que entrega es de 5 VDC, es decir, como si indicara 355°.



Figura 4.16: Circuito de acondicionamiento para la dirección del viento.

Dirección del Viento	
Rango de medición	0 ÷ 360°
Sensibilidad	0,1°
Precisión	± 2°
Transductor	Banderola y transductor potenciómetro
Características comunes	
Temperatura de funcionamiento	-30 ÷ +60 °C

Tabla 4.7: Especificaciones técnicas de la veleta.

También cuenta con un circuito de acondicionamiento que protege al transductor de sobrecorrientes como del ruido generado en el medio ambiente, como se muestra en la Figura 4.16.

El valor correspondiente a la dirección del viento se compone de un potenciómetro que varía de acuerdo a la posición de la veleta. Cuando esta resistencia tiene un valor igual a 10 KΩ su equivalente en grados es 180 que señala el Sur.

$$R = \frac{5V}{2^{22}} = 0,000001192V \approx 1,19\mu V/b \quad (4.12)$$

De acuerdo al cálculo, debe existir una variación de 1,19 uV/b para que el ADC escale otro valor digital en el rango de 0 y 2²² bits. Para determinar el valor de la temperatura se parte de 4.2 y 4.3, donde:

$$F_S = \frac{355 - (0)^\circ}{2^{22}} = 0,00008583^\circ/b \quad (4.13)$$

$$D_V = V_{ADC} \cdot 0,00008583 \quad (4.14)$$

D_V : Dirección del Viento

V_{ADC} : Valor digital del [ADC](#) entre $0 - 2^{22}$ bits

F_S : Factor de sensor

4.2.6. Sensor de Radiación Solar

Los instrumentos más comúnmente utilizados para medir el contenido de energía directa y difusa del espectro solar son llamados piranómetros. El principio físico que utilizan es la medida de voltaje en una pila termoeléctrica sobre la que incide la radiación solar.

La termopila se forma por sectores blancos y negros, que absorben la radiación solar, las bandas negras absorben más radiación solar con respecto a las bandas blancas, que se transforma en calor. Este flujo de calor se transmite a la termopila, generándose una tensión eléctrica proporcional a la diferencia de temperatura, y a su vez la tensión eléctrica es proporcional a la radiación incidente. Los piranómetros suelen medir el espectro de la radiación solar, el cual se extiende aproximadamente de 300 a 2800 nm.



Figura 4.17: Sensor de radiación solar SIAP+MICROS.

El sensor utilizado para la medición es el modelo t056 TRADNT de la marca SIAP+MICROS, que se observa en la Figura [4.17](#), cuya medida se efectúa a través

Rango de medición	$-500 \div 1500 \text{ W/m}^2$
Rango espectral	$0,3 \div >60 \text{ }\mu\text{m}$
Sensibilidad de la termopar	1 mV/W/m^2
Sensibilidad	$\pm 0,5 \text{ W/m}^2$
Precisión	30 W/m^2
Tipo de transductor	Termopar
Temperatura de funcionamiento	$-20 \div 50 \text{ }^\circ\text{C}$

Tabla 4.8: Especificaciones técnicas del sensor de Radiación Solar.

de dos sensores contrapuestos que señalan la diferencia entre la radiación directa y la reflejada por el suelo. El instrumento está formado por dos termopilas que se calientan proporcionalmente a la radiación solar incidente, absorbida por una pintura especial negra que recubre la superficie de las termopilas. Las zonas sensibles del instrumento serán protegidas por cúpulas realizadas en material plástico con transmitancia en el infrarrojo, tal como se muestra en la Figura 4.18. Las especificaciones técnicas para el sensor se observan en la Tabla 4.8.

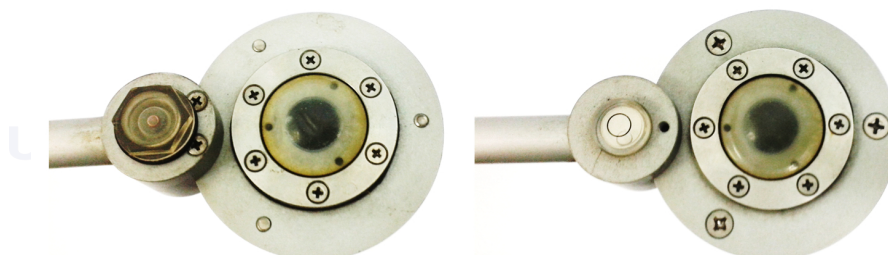


Figura 4.18: Termopilas para la medición de la radiación solar neta y reflejada.

Este tipo de sensores entregan una señal analógica que varía entre $0 - 2\text{V}$. En la Figura 4.19 se observa las conexiones pertinentes al sensor donde su alimentación varía entre $10 - 16\text{V}$.

	Pin 1	Pin 2	Pin 3	Pin 4
TRADNT-I	(alim) 10÷16 Vdc	+4÷20 mA	-4÷20 mA	(alim) GND
TRADNT-V	(alim) 10÷16 Vdc	+0÷2 Vdc	-0÷2 Vdc	(alim) GND
TRADNT-S	(alim) 10÷16 Vdc	B – RS485	A – RS485	(alim) GND

Figura 4.19: Diagrama de pines para la conexión del Piranómetro[10].

4.3. Propuesta y diseño de la arquitectura para la adquisición de datos

La instrumentación de cada variable meteorológica permite saber el funcionamiento de los sensores y a través de ingeniería inversa descifrar los modelos obtenidos en las estaciones de SENAGUA. Estos modelos cuentan principalmente de dos tarjetas electrónicas:

- Placa esclavo para la adquisición y procesamiento de datos.
- Placa maestro o Datalogger para la comunicación y gestión de la información.

El diseño del circuito impreso debe tener la siguiente característica: obtener la menor resistencia o impedancia posible, ya que esto disminuye el consumo de energía debido a la disipación de calor por parte de los elementos. También, la reducción en el tamaño de la placa es un factor importante que tiene como ventaja el aumento de la resistencia ante ambientes hostiles de operación, afectados principalmente por el clima.

4.3.1. Diseño de la placa esclavo para la adquisición y procesamiento de datos

El dispositivo esclavo para la adquisición de los datos ubicado en cada uno de los sensores disponibles en las estaciones meteorológicas tiene un formato general que puede aceptar diferentes tipos de señales. Cada integrado junto con sus capacitores de acoplamiento se colocan en el diseño esquemático y se conectan entre si adecuadamente como lo muestra el Apéndice B. El diseño del PCB consta de diferentes bloques que se detallan en la Figura 4.20.

A continuación se describe los bloques incluidos dentro de la placa esclavo para el acondicionamiento y procesamiento de datos.

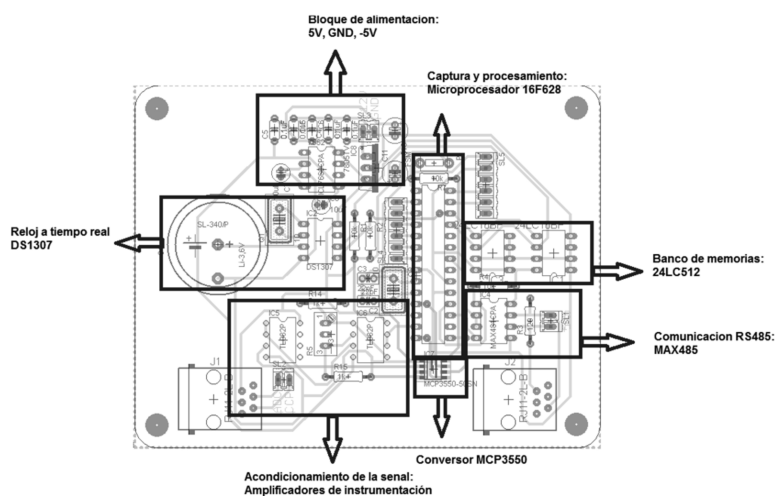


Figura 4.20: Diseño del PCB para la placa esclavo.

4.3.2. Alimentación

El bloque de alimentación es el que provee los niveles de voltajes para todo el equipo, utilizando como fuente de energía una batería de 12 voltios. El circuito convertor de voltaje **DC-DC** está basado en integrados como el 7805 y el 7662 para generar 5 y -5 V, respectivamente como se muestra en la Figura 4.21. Es importante mencionar el uso de capacitores de desacople que evitan caídas de tensión reiniciando al microcontrolador y dando lugar a fallas en la medición.

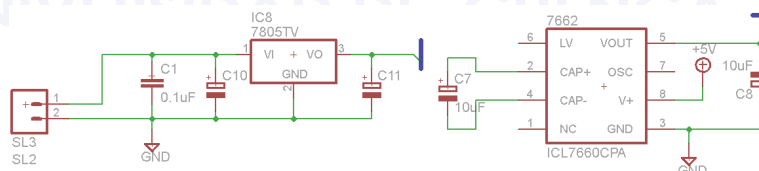


Figura 4.21: Circuito de alimentación de la placa esclavo.

4.3.3. Acondicionamiento de señal

Un objetivo fundamental del proceso de introducción de datos consiste en depurar, con el mínimo de errores, los datos preprocesados tal como fueron adquiridos en su instrumentación. Los registros en formato analógico generalmente se digitalizan durante el proceso de inserción. Los datos que ya están en formato discreto están preparados para introducirse directamente en el sistema.

- **Canal analógico**

Para el acondicionamiento del canal analógico, cuya entrada oscila entre 3V y 5V, se procedió a digitalizar la señal mediante el uso de un [ADC MCP3550](#) de 22 bits que cuenta con un solo canal, como se observa en la Figura 4.22. Una vez realizada la conversión se envían los datos a través del protocolo de comunicación [SPI](#) hacia el microcontrolador esclavo, para su posterior captura, transmisión y almacenamiento en memorias seriales.

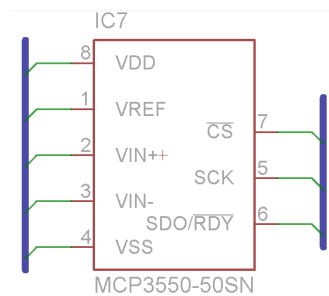


Figura 4.22: Conversor MCP3550 de 22 bits para señales analógicas.

- **Canal digital**

En el acondicionamiento del canal discreto, se tiene señales compuestas por pulsos las cuales oscilan entre 1 V y 2V de tensión pico. Para normalizar la señal de entrada se ha colocado un seguidor de tensión que satura la señal al nivel del voltaje de alimentación para el seguidor, obteniendo pulsos continuos, como en la Figura 4.23.

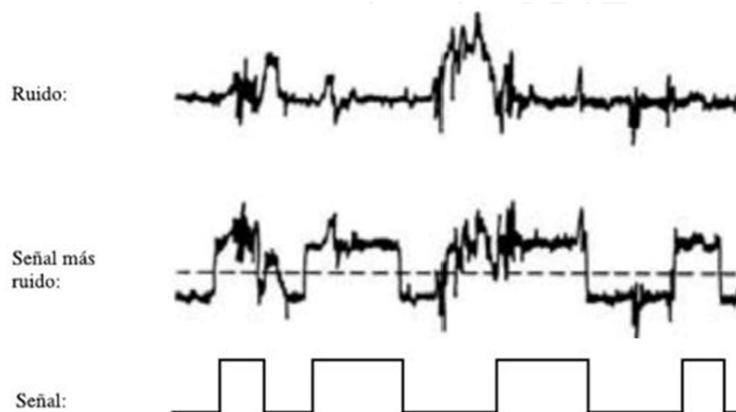


Figura 4.23: Acondicionamiento de la señal discreta mediante saturación y filtrado del ruido.

A continuación, se define una etapa de filtrado que permiten eliminar el ruido y antialiasing en la señal que se muestra en la Figura 4.24. Este filtro tiene una configuración Sallen-Key pasabajos de segundo orden y su frecuencia de corte es de 120 Hz, que es la frecuencia máxima a la que puede funcionar los sensores con señal digital. A partir de este punto se envía a un microcontrolador que realizara el trabajo de captura.

4.3.4. Registro de datos a tiempo real

Para realizar la captura de datos en la placa esclavo, se colocó un reloj a tiempo real basado en el componente DS1307 que entrega mediante una comunicación I²C, los datos referentes a la fecha como año, mes, día, hora, minutos y segundos.

Dentro de las especificaciones para este reloj a tiempo real se encuentra disponible un formato estándar para la adquisición de la fecha, el cual se observa en la Figura 4.25.

4.3.5. Banco de memorias seriales para almacenamiento

El conjunto de datos capturados se almacenan de manera preventiva en un banco con 2 memorias seriales, una para cada señal sea esta analógica, discreta o ambas y cuyo elemento es el 24C512 que utiliza comunicación I²C. Estas tienen una capacidad de 512 KB y cuentan con registros de 8 bits, apilados serialmente y se observan en la Figura 4.26. Para el acceso a estas memorias se dispone de una librería en MikroC for PIC, que permite la escritura y lectura de la información.

El formato utilizado para el almacenamiento de la cabecera en el banco de memorias seriales se obtuvo del reloj a tiempo real DS1307 como se puede observar en la Figura 4.27, ya que cada registro de tiempo se compone de 8 bits. Esto permite escribir cada valor de la fecha al inicio de la memoria serial y apilar para posteriormente colocar los datos capturados por un microcontrolador. De esta manera se puede respaldar la información adquirida durante un tiempo promedio de 6 días, dada una escritura cada 4 segundos.

4.3.6. Captura y procesamiento de datos

Dentro del dispositivo esclavo se utilizó un microcontrolador 16F628 como eje fundamental para este proceso, debido a las características necesarias para la captación y procesamiento, como la disponibilidad de los protocolos SPI, I²C y RS485, como se observa en el diseño final en la Figura 4.28.

Para capturar la señal discreta proveniente del transductor, al ser esta un conjunto de pulsos, se utilizó el módulo de captura CCP1 del microcontrolador PIC. Este módulo detecta los diferentes flancos de los pulsos, tanto de subida o bajada según la configuración, que permiten realizar el conteo de cada pulso o calcular el valor del temporizador para determinar el tiempo transcurrido y a la postre obtener el valor de la frecuencia de la señal. El módulo de captura coloca este valor en una variable tipo flotante de 4 bytes, es decir, tiene un tamaño de 32 bits que permite tener una resolución extensa para el cálculo de las medidas meteorológicas.

En la captura de la señal analógica, una vez digitalizada a través del conversor MCP3550 de 22 bits, esta se sincroniza mediante el protocolo de comunicación [SPI](#), que envía 3 bytes correspondientes a la información de la medición en el transductor en formato binario. Estos bytes se transmiten desde el LSB menos significativo hacia el MSB de mayor significancia. Al igual que en las señales discretas, el protocolo coloca la información en una variable de 4 bytes que permite procesar la información.

4.3.7. Diseño de la placa maestro para la gestión y registro de la información

A partir del análisis de las características necesarias para el manejo sistematizado de la información que requiere el presente trabajo, se seleccionó el microcontrolador de la gama alta de Microchip PIC18F4620 [20], cuyas características son:

- Dispone de múltiples fuentes de interrupción con prioridades.
- Fuentes de interrupción externa.
- Desbordamiento de los temporizadores/contadores.
- Interrupciones provenientes de la interfaz [USB](#).
- Cambio en el estado de las líneas 4, 5, 6 y 7 del puerto B.
- Conversor A/D de 10 bits, hasta 13 canales.
- Puerto serie síncrono que soporta protocolo [I²C](#), [SPI](#), [UART](#).
- Interfaz RS485.
- Interfaz memoria de almacenamiento masivo [MMC SD](#)
- Interfaz Ethernet.

Este dispositivo gestiona la información mediante un temporizador que realiza la petición al sensor según los tiempos de muestreo para cada variable meteorológica estándar según la OMM y que se observa en la Tabla 4.9. Esta petición es un valor binario que

	TEMPERATURA	HUMEDAD	VELOCIDAD DEL VIENTO	DIRECCIÓN DEL VIENTO	RADIACIÓN SOLAR	PRECIPITACIÓN	PRESIÓN
Unidades	°C / °F	%	m/s	deg	W/m ²	mm	hPa
Rango	-30 a +40 °C	5 a 100 %	0 - 70 min	0 a 360 deg	0 a 1800 W/m ²	0 a >400 mm	920 a 1080 hPa
Resolución	0.1 °C	1 %	1 m/s	10 deg	1 W/m ²	0.1 mm	0.1 hPa
Precisión	0.1 °C a 0.5 °C	<3 %	±5 m/s para <5 m/s y ±10 % para >5 m/s	±5 deg	±5 %	±0.1 mm para <5 mm y ±2 % para >5 mm	0.1 hPa
Altura de Medición (m)	1.5		6 a 10	6 a 10			1.5
Tiempo de Muestreo Actualización (s)	12	12	2.25	12	50s a 1min	12	12
Tiempo para Promedio/Max/Min	1/10 min y 6/12 horas	1 / 10 min	3 s / 1 min / 10 min	1 min / 10 min		1 min / 10 min	1 min / 10 min

Tabla 4.9: Muestreo de las variables meteorológicas disponibles

identifica a cada dispositivo esclavo y sincroniza cuando se debe realizar la transmisión de datos.

Al igual que el dispositivo esclavo, el circuito impreso contiene diferentes bloques como se puede observar en la Figura 4.29. Esta tarjeta cuenta con un medio de almacenamiento masivo conocido como memoria SD, como también del módulo de comunicación Ethernet que brinda la conectividad IP, tal y como se muestra en el Apéndice el Apéndice B.

4.3.8. Comunicación de dispositivos maestro esclavo

Al realizar la adquisición en cada sensor mediante la placa esclavo, es necesario transmitir los datos hacia un dispositivo maestro de mayores prestaciones que gestione la información de manera ordenada y sincronizada. Para esta comunicación se utilizó el protocolo diferencial RS485, debido a que permite enviar información a distancias cercanas a los 300 metros, propicio para enlazar dispositivos que se encuentren apartados del centro de información. Además, este protocolo soporta la configuración maestro esclavo que permite comunicar varios dispositivos hacia un elemento central, de manera sincronizada. El envío de los datos se realiza a partir de la petición del dispositivo maestro,

es decir el PIC18F4620, que trasmite un valor binario, entre 0 y 255, para reconocer el dispositivo esclavo. En respuesta a esta petición, el dispositivo esclavo transmite 4 bytes de manera serial, los cuales contienen información capturada en el sensor, como se indica en la Figura 4.31. Estos datos son almacenados en un buffer y posteriormente colocados en la memoria SD de almacenamiento masivo.

4.3.9. Almacenamiento masivo de la información

El almacenamiento de los datos se realizó en dos formatos para la posterior lectura y transmisión: el primero es un formato hexadecimal y el segundo es un formato de texto decimal, cabe mencionar que los valores correspondientes a cada sensor se los

almaceno en archivos diferentes. Cada archivo corresponde a un sensor que puede tener a su vez entre uno o dos transductores[31].

El almacenamiento corresponde a un dato para cada transductor, pero existen sensores por parte de [SENAGUA](#) que cuentan con dos transductores a la vez, como la velocidad y la dirección del viento, en estos casos se almacenan dos datos dentro del mismo archivo. Para aquellos sensores que poseen un solo transductor se utiliza únicamente una posición, tal y como se ha realizado para el pluviómetro y se rellena con valores nulos en las posiciones restantes.

Cada dato almacenado está compuesto por una cabecera de 4 bytes y a continuación el valor del dato censado que también contiene 4 bytes. Entonces cada dato se compone de una cadena de 8 bytes que se almacenan uno a continuación del otro. La cabecera colocada se encuentra compuesta de izquierda a derecha, el primero y el segundo son valores de relleno que no se utilizan y se los ha colocado en un valor hexadecimal FF, el tercer byte es el valor correspondiente al sensor (A=41, B=42, C=43, D=44, etc...), y el cuarto byte corresponde al número del transductor que en este caso puede ser 1 o 2. El valor del dato censado se encuentra dispuesto de izquierda a derecha desde el MSB hacia el LSB. En la siguiente Figura 4.32 se muestra como se encuentra compuesta la primera trama de datos almacenada:

Como se observa en la Figura 4.33 esta trama de datos almacenada se genera para cada uno de los archivos dependiendo del número de sensores. Por ejemplo, si se tiene otro sensor este genera otro archivo con un cambio en el byte 3 de la cabecera y por supuesto los datos censados para el sensor. Para la visualización de los datos en formato hexadecimal se puede utilizar el software WinHex, como muestra la Figura 4.33.

De manera análoga, para el formato decimal se genera archivos por separado en formato de texto de acuerdo a los diferentes sensores y se colocan los valores correspondientes a la medición que se ha realizado y que ha sido enviada a través del canal de comunicación RS485, separados por el nombre del sensor. Cabe recalcar que los datos tanto en valores hexadecimales y valores decimales no tienen conversión alguna y cuyo factor se define de acuerdo a las mediciones en cada sensor y su unidad.

4.3.10. Planteamiento de diseños alternos

El diseño del sistema de adquisición de datos principalmente consta de dos dispositivos: la placa esclavo, de uso general para todos los sensores y que obedece a un dispositivo de mayores prestaciones como es la placa maestro que cuenta con un ele-

mento de mejores características, como el PIC18F4620. Este se encarga de la gestión de la información, pero dentro del mercado se encuentran otros elementos que desempeñan funciones muy similares y en otras, con mayor capacidad.

De esta manera se plantea el uso de dos plataformas de uso actual en sistemas embebidos como son Raspberry PI Modelo B y el Arduino Mega 2560. Estos dos dispositivos que cuentan con software libre son las principales tarjetas electrónicas utilizadas para el desarrollo en sistemas de adquisición de datos. A continuación se presenta el desarrollo obtenido con cada una y la manera en que se incorporan al [SAD](#) como dispositivos maestros.

4.3.11. Planteamiento de diseños para la Arduino Mega 2560

La tarjeta Arduino Mega 2560 es un dispositivo que cuenta con características muy similares a las de un microcontrolador PIC con una mayor cantidad tanto en pines de entrada y salida como de cantidad de memoria. La propiedad principal del Arduino Mega 2560 es que dispone de librerías preprogramadas y de módulos en hardware que se pueden incorporar a la placa base para obtener un dispositivo con mayor cantidad de características, como se observa en la Figura [4.34](#).

El módulo Arduino Ethernet W5100 incluye las funcionalidades necesarias que emulan el dispositivo maestro para la gestión de la información. Este posee una ranura [SD](#) para el almacenamiento de archivos y también cuenta con un conector RJ45 para la comunicación Ethernet con direccionamiento IP.

El procedimiento para diseñar e implementar la estación meteorológica basada en la plataforma Arduino se realiza de manera similar a la ejecutada en el Microcontrolador PIC, con un cambio en su placa maestro. Los sensores y dispositivos esclavos mantienen el mismo formato ya presentado, como también el protocolo de comunicación RS485. Para la tarjeta maestro, al mantener la misma comunicación, se utilizó la librería RS485.h, que contiene los pines que habilitan la comunicación en cierto periodo de tiempo. El Arduino 2560 posee tres canales de comunicación para transmisión ([TXD](#)) y recepción ([RXD](#)), que para el efecto se utilizó únicamente el primer canal.

La configuración simplifico de manera considerable la sincronización, dado que los métodos de la librería RS485Serial.h permiten detectar el flujo de 4 bytes correspondientes a la cadena de información proveniente de la tarjeta esclavo y los sensores, manteniendo el mismo formato implementado para el Microcontrolador PIC. Las interrupciones son reemplazadas por un bucle que se encuentra en constante lectura,

Librería	Aplicación
Ethernet.h	Conexión del módulo Ethernet a internet. Permite aceptar conexiones entrantes y salientes.
SD.h	Permite la lectura y escritura en la tarjeta SD.
SPI.h	Gestiona la comunicación con dispositivos SPI (Serial Peripheral Interface). Se usan para la comunicación entre los shields y las placas Arduino.
RS485.h	Establece la comunicación serial entre el Arduino Mega 2560 y el dispositivo esclavo para la transmisión de la información

Tabla 4.10: Librerías empleadas y descripción para Arduino.

cuyo efecto se refleja en el aumento del consumo de energía a una menor complejidad computacional.

Para el manejo de la cadena de 4 bytes con la información correspondiente a los sensores, se utilizó la asignación de punteros, de manera similar a la del Microcontrolador PIC. De esta manera se asigna la información a una variable tipo long de mayor tamaño, conservando el formato y la resolución necesaria para la obtención de una medida satisfactoria.

El almacenamiento de la información y la comunicación Ethernet se la realizó mediante el protocolo SPI, donde Arduino dispone de una librería preprogramada SPI.h que únicamente necesita un pin para la transmisión de los bytes de información y otro de selección o Chip Select que establece la sincronización al existir otros dispositivos conectados. El módulo de Ethernet se configuró mediante la librería Ethernet.h, en donde es necesario colocar el puerto (80) para la comunicación, la dirección IP (192.168.1.30) y su dirección MAC para el equipo.

Las librerías nos permiten ampliar las capacidades del entorno Arduino para interactuar con otro hardware o manipular datos[25]. Para la ejecución del proyecto ha sido necesario el uso de varias de ellas, que se listan en la Tabla 4.10.

4.3.12. Planteamiento de diseños para la Raspberry PI Modelo B

Para continuar describiendo las plataformas alternativas al microcontrolador PIC, otro dispositivo es la tarjeta Raspberry PI, ya que esta plataforma ofrece funcionalidad avanzada superior a la Arduino y Microchip.

Raspberry PI es una minicomputadora de pequeño tamaño capaz de conectarse con medios de visualización avanzados y con un teclado. Este es utilizado en muchas de las aplicaciones que nuestro PC de escritorio puede hacer, como por ejemplo hojas

de cálculo, procesadores de texto, videojuegos y ver video de alta definición[25]. Se ofertan dos modelos, Modelo A y B con un precio alrededor de 45 dólares. Los demás elementos como la fuente de alimentación o la tarjeta SD deben ser comprados por separado. Algunas de las características generales son las siguientes:

- Modelo A tiene 256MB de RAM, 1 puerto USB y no tiene Ethernet.
- Modelo B tiene 512MB de RAM, 2 puertos USB y Ethernet.
- Las medidas de la tarjeta son 85.60mm x 56mm x 21mm y su peso de 45 gramos.
- Memoria de almacenamiento SD, MMC, SDIO, donde se encuentra el sistema operativo Raspbian[24].

El diseño e implementación de la estación meteorológica mediante la Raspberry PI Modelo B, respecto a las arquitecturas anteriores tiene un único cambio que se presenta en la tarjeta maestro, conservando los dispositivos esclavos, así como su protocolo de comunicación basado en RS485. De esta manera para la programación se desarrolló un script en lenguaje Python que se ejecuta dentro del sistema operativo Raspbian. Raspberry PI posee librerías tales como Serial.py, donde se alojan los métodos para detectar la trama de datos y enlazar los dispositivos[32].

Debido a que este dispositivo es una microcomputadora y la gran capacidad de su microprocesador se implementó el uso de hilos a manera de persistencia. Los hilos o threads son procesos que cumplen tareas específicas tales como el monitoreo constante de la comunicación y que se encargan de su sincronización con las tarjetas esclavos. En este caso se utilizó un hilo para la transmisión TXD y otro para la recepción RXD, que sincronizan la comunicación y gestión la información. Esta creación de procesos a la postre deriva en un mayor consumo de energía, pero que sin duda simplifica en gran escala la complejidad computacional.

Otra característica es la configuración GPIO, dado que se puede asignar cualquier pin a diferentes funcionalidades como son: entrada y salida, comunicación SPI o Serial. El almacenamiento se traduce en colocar un conjunto de archivos que contienen la información correspondiente a cada sensor dentro del sistema operativo Raspbian. Dentro del archivo se incluye la fecha en la que se realizó la adquisición de los datos haciendo uso de la librería Date propia del microcomputador.

Este equipo posee mayores características que las plataformas anteriores al ser una microcomputadora. Una de las características más importantes del Raspberry PI es su gran capacidad de interactuar con el exterior a través de múltiples medios y protocolos

de comunicación. Es por esta razón que tiene gran acogida en el mercado de la industria, automatización de procesos y domótica en la actualidad.

Entre la gran variedad de medios de comunicación del Raspberry PI con el exterior se pueden citar las salidas para televisor, ya sea antiguos o por medio del cable [HDMI](#); así también salida para audio. Sin embargo los medios más utilizados para fines aplicativos como sistemas embebidos autónomos son las entradas y salidas de propósito general conocidas como [GPIOs](#) del Raspberry PI; a través de estas entradas y salidas se pueden conectar motores, sensores, luces, entre otros[33].

El cable de red es otro método muy utilizado para comunicar el sistema embebido con el exterior, pues permite conectarse directamente el Raspberry PI con la nube y a través de esta herramienta aprovechar al máximo las capacidades del dispositivo así como acceder a los datos e información almacenadas en el sistema. Por último el Raspberry PI tiene entradas [USB](#) de tipo A para conectarse con cualquier hardware externo, esto se puede aprovechar de múltiples maneras como por ejemplo para conectar cámaras, impresoras, adaptadores Bluetooth, adaptadores de red inalámbrica, entre otros[33]. A través de estos medios se puede intercambiar información en distintos protocolos como el protocolo [TCP/IP](#), [I²C](#), [SPI](#) o serial RS485.

- **Entradas y salidas de propósito general [GPIO](#)**

Al momento de utilizar los pines de propósito general como salidas es importante tener en cuenta la corriente que consumen los dispositivos a conectar, en especial si son cargas de alto consumo. Si el consumo de energía es alto puede llegar a dañar el pin de propósito general o incluso todo el sistema embebido.

Por otro lado, cuando se utiliza los pines de propósito general como entradas es más sencillo; debido a que pueden tener solos dos estados definidos: 3.3V considerado como nivel alto y 0V como el nivel bajo. En caso de que el nivel de voltaje se encuentre en un valor intermedio, como es el caso cuando el pin no está conectado a nada, es totalmente incierto si el Raspberry PI lo entiende como alto o bajo[32].

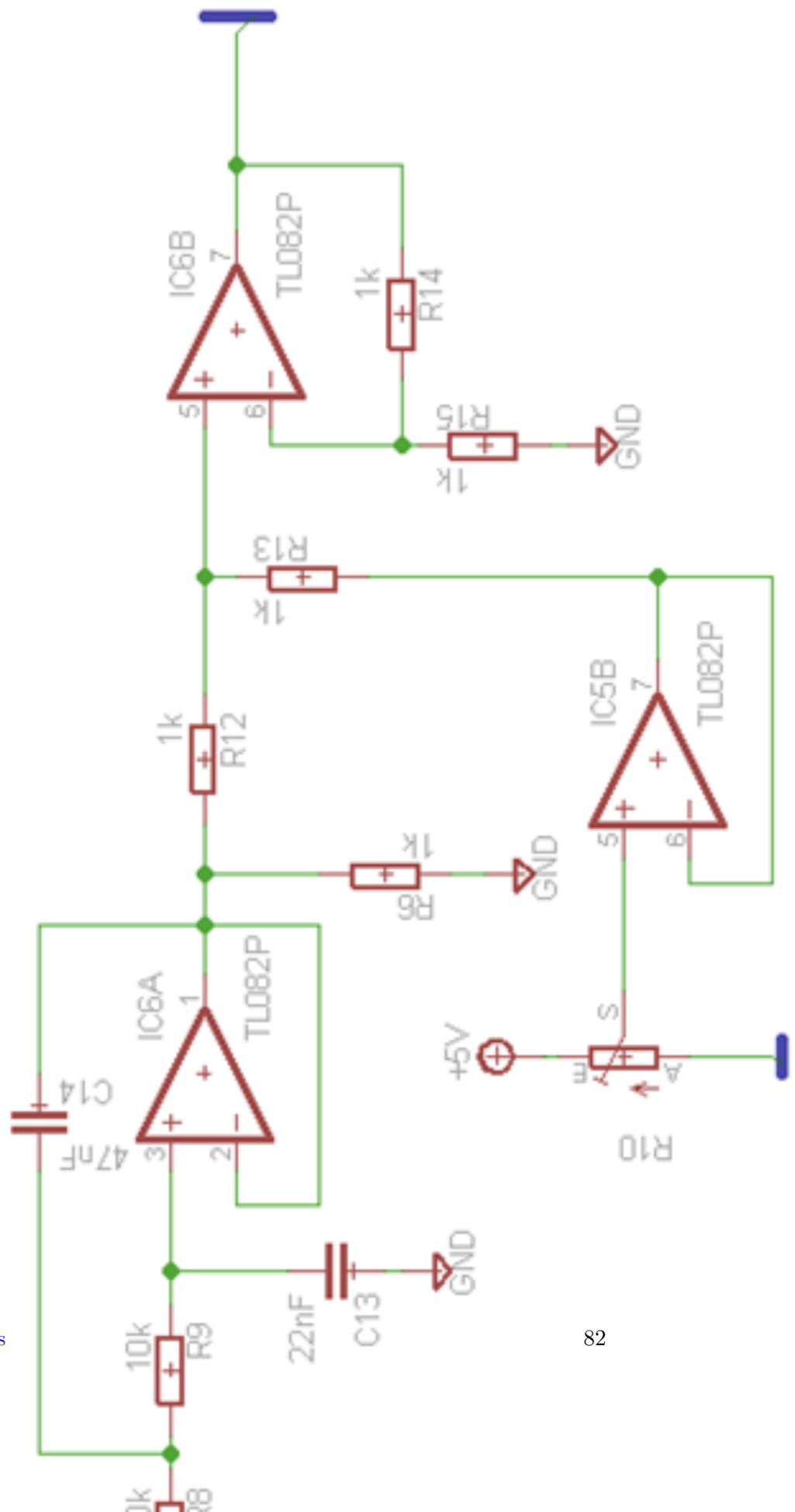
El uso de los protocolos de comunicación como [I²C](#), [SPI](#), serial [UART](#) y serial RS485 es sencillo, pues se tienen pines especiales separados para este fin. Sin embargo, es necesario habilitar estos protocolos a través de la herramienta `raspi-config`[25].

- **Comunicación [SPI](#)**

Previo al uso de este protocolo de comunicación se debe habilitar la opción **SPI** en el documento config.txt. Para utilizar el protocolo de comunicación **SPI** se ocupa los pines 19, 21, 23, y 24 nombrados MOSI, MISO, SCK y CS respectivamente. El Raspberry PI permite conectar dos módulos o circuitos integrados que utilicen comunicación **SPI** a través de los **GPIOs**; para diferenciar entre las dos comunicaciones **SPI**, utiliza los pines de chip select CS.

- **Comunicación serial UART**

Los pines 8 y 10 de los pines de propósito general son designados para este protocolo de comunicación, nombrados **TXD** y **RXD** respectivamente. Se debe habilitar su uso a través de la herramienta raspi-config es necesario especificar la velocidad de transferencia de datos en baudios, para la comunicación maestro esclavo es de 9600 bps. Al momento de escoger la velocidad de comunicación se debe considerar que a mayor velocidad se disminuye el ruido causado por interferencias externas pero también se aumenta la probabilidad de perder información en la comunicación.



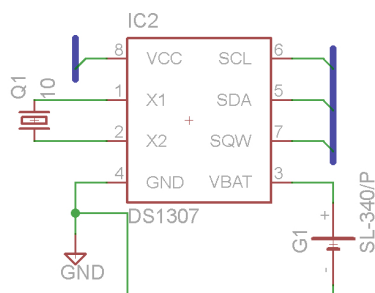


Figura 4.25: Diagrama esquemático del reloj DS1307.

ADDRESS	BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0	FUNCTION	RANGE
00h	CH	10 Seconds			Seconds				Seconds	00-59
01h	0	10 Minutes			Minutes				Minutes	00-59
02h	0	12	10 Hour	10 Hour	Hours				Hours	1-12 +AM/PM 00-23
		24	PM/AM							
03h	0	0	0	0	0	DAY			Day	01-07
04h	0	0	10 Date			Date			Date	01-31
05h	0	0	0	10 Month	Month				Month	01-12
06h	10 Year				Year				Year	00-99
07h	OUT	0	0	SQWE	0	0	RS1	RS0	Control	—
08h-3Fh									RAM 56 x 8	00h-FFh

Figura 4.26: Cabecera estándar para las memorias seriales 24LC512.

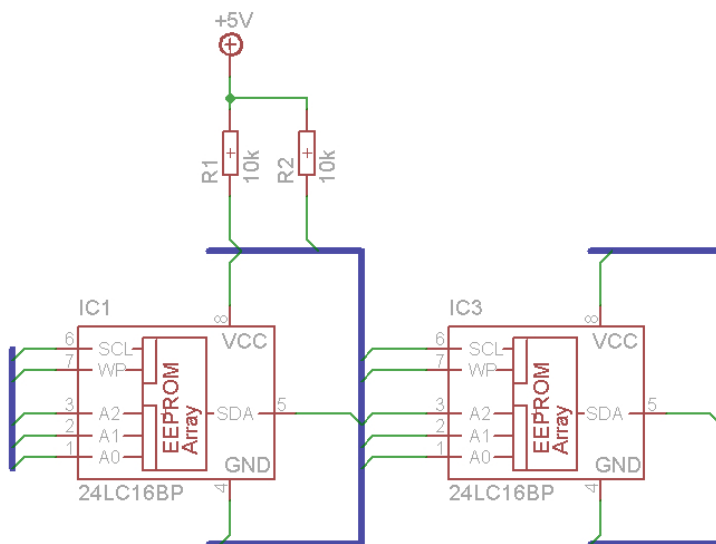


Figura 4.27: Banco de memorias seriales.



Figura 4.28: Placa esclavo para la captura y procesamiento de datos.

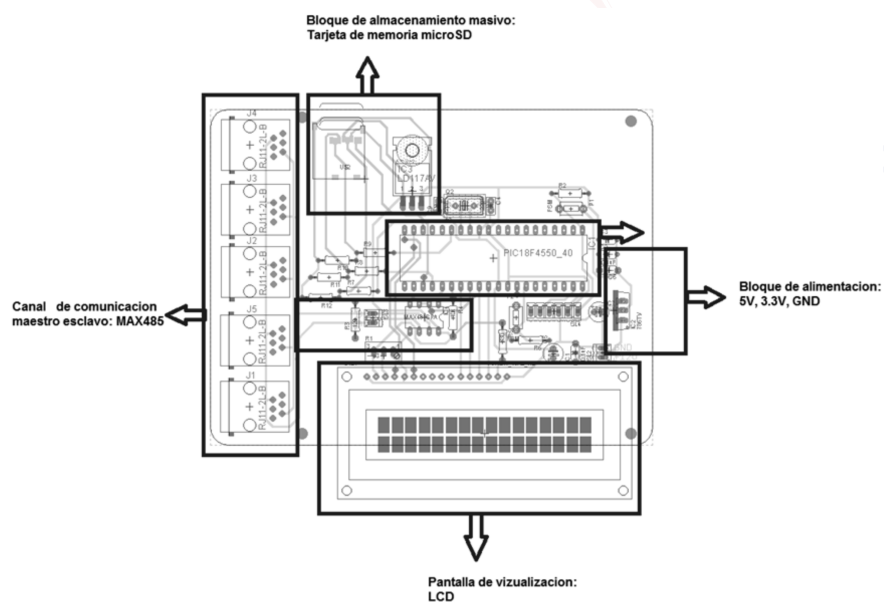


Figura 4.29: Diseño PCB del dispositivo maestro.

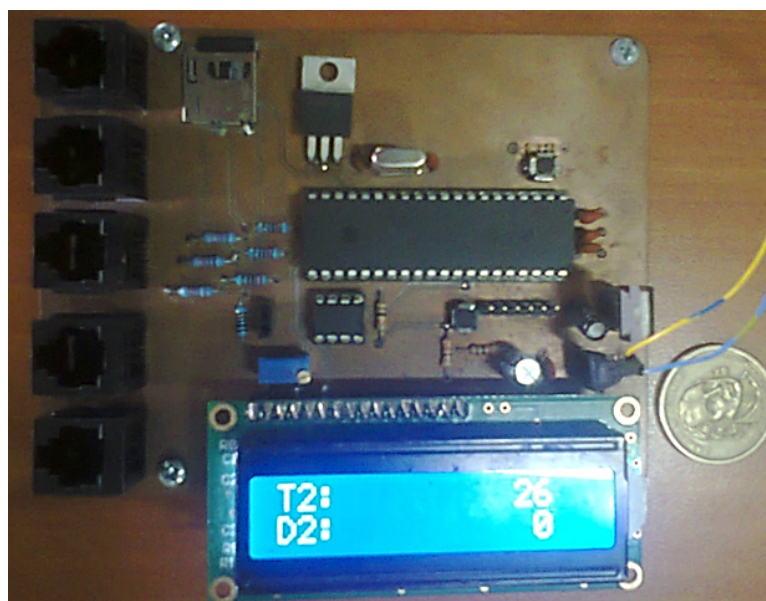


Figura 4.30: Placa maestro para la gestión de la información.

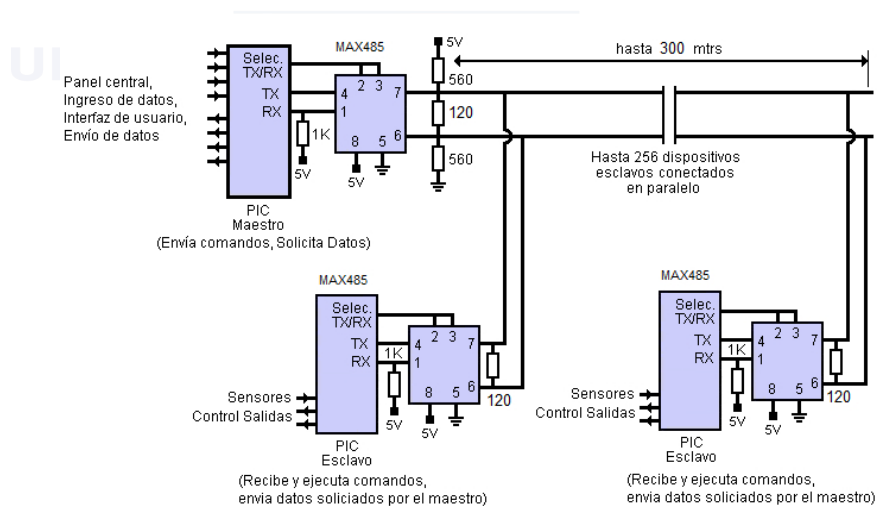


Figura 4.31: Esquema de funcionamiento del protocolo RS485.

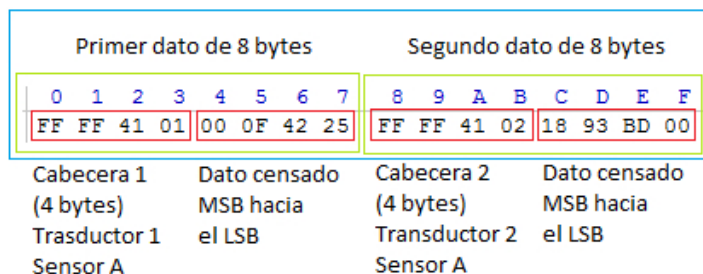


Figura 4.32: Trama de datos almacenada en la memoria SD.

SENSOR0A.TXT																
Offset	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
00000000	FF	FF	41	01	00	0F	42	25	FF	FF	41	02	18	93	BD	00
00000010	FF	FF	41	01	00	0F	42	25	FF	FF	41	02	18	93	BD	00
00000020	FF	FF	41	01	00	0F	42	25	FF	FF	41	02	18	93	BD	00
00000030	FF	FF	41	01	00	0F	41	E7	FF	FF	41	02	00	1F	FF	2E
00000040	FF	FF	41	01	00	0F	41	E7	FF	FF	41	02	00	1F	FF	2E
00000050	FF	FF	41	01	00	0F	42	25	FF	FF	41	02	00	1F	FF	2F
00000060	FF	FF	41	01	00	0F	42	25	FF	FF	41	02	00	1F	FF	2F
00000070	FF	FF	41	01	00	0F	42	25	FF	FF	41	02	00	1F	FF	2F
00000080	FF	FF	41	01	00	06	34	7C	FF	FF	41	02	00	1F	FF	2E
00000090	FF	FF	41	01	00	06	34	7C	FF	FF	41	02	00	1F	FF	2E
000000A0	FF	FF	41	01	00	0F	D2	51	FF	FF	41	02	00	1F	FF	2F
000000B0	FF	FF	41	01	00	0F	D2	51	FF	FF	41	02	00	1F	FF	2F
000000C0	FF	FF	41	01	00	0F	D2	51	FF	FF	41	02	00	1F	FF	2F
000000D0	FF	FF	41	01	00	1E	84	65	FF	FF	41	02	00	1F	FF	2E
000000E0	FF	FF	41	01	00	1E	84	65	FF	FF	41	02	00	1F	FF	2E
000000F0	FF	FF	41	01	00	1E	84	65	FF	FF	41	02	00	1F	FF	2E
00000100	FF	FF	41	01	00	1E	84	65	FF	FF	41	02	00	1F	FF	2F
00000110	FF	FF	41	01	00	1E	84	65	FF	FF	41	02	00	1F	FF	2F
00000120	FF	FF	41	01	00	1E	84	65	FF	FF	41	02	00	1F	FF	2E
00000130	FF	FF	41	01	00	1E	84	65	FF	FF	41	02	00	1F	FF	2E
00000140	FF	FF	41	01	00	1E	84	65	FF	FF	41	02	00	1F	FF	2E
00000150	FF	FF	41	01	00	1E	84	65	FF	FF	41	02	00	1F	FF	2F
00000160	FF	FF	41	01	00	1E	84	65	FF	FF	41	02	00	1F	FF	2F
00000170	FF	FF	41	01	00	1E	84	65	FF	FF	41	02	00	1F	FF	2E
00000180	FF	FF	41	01	00	1E	84	65	FF	FF	41	02	00	1F	FF	2E
00000190	FF	FF	41	01	00	1E	84	65	FF	FF	41	02	00	1F	FF	2E
000001A0	FF	FF	41	01	00	1E	84	65	FF	FF	41	02	00	1F	FF	2F
000001B0	FF	FF	41	01	00	1E	84	65	FF	FF	41	02	00	1F	FF	2F
000001C0	FF	FF	41	01	00	1E	84	65	FF	FF	41	02	00	1F	FF	2F
000001D0	FF	FF	41	01	00	1E	84	65	FF	FF	41	02	00	1F	FF	2E
000001E0	FF	FF	41	01	00	1E	84	65	FF	FF	41	02	00	1F	FF	2E
000001F0	FF	FF	41	01	00	1E	84	65	FF	FF	41	02	00	1F	FF	2F
00000200	FF	FF	41	01	00	1E	84	65	FF	FF	41	02	00	1F	FF	2F
00000210	FF	FF	41	01	00	1E	84	65	FF	FF	41	02	00	1F	FF	2F
00000220	FF	FF	41	01	00	1E	84	65	FF	FF	41	02	00	1F	FF	2E

Figura 4.33: Conjunto de datos almacenados en un archivo de texto.

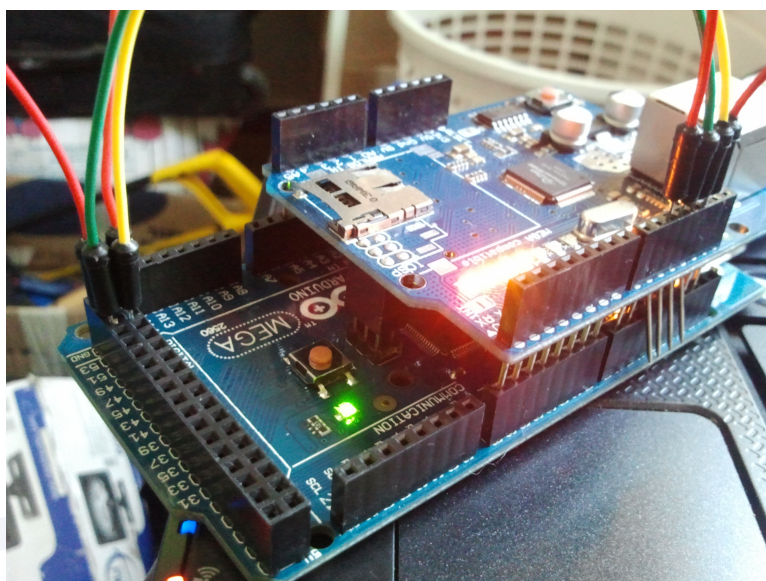


Figura 4.34: Arduino Mega 2560 y módulo para tarjeta micro [SD](#) y comunicación Ethernet.

4.4. Criterio de tropicalización

La tropicalización, en el ámbito de equipos electrónicos, hace referencia al proceso de barnizado y revestimiento de las placas con el fin de protegerlas de varios factores ambientales como la humedad y agentes químicos; también la tropicalización de un circuito electrónico asegura el aislamiento eléctrico. Esto es necesario porque incluso pequeñas basuras externas pueden crear fallos en la placa o pérdidas de potencia, incluso el completo deterioro del circuito.

Para el [SAD](#) se toman en cuenta varios criterios de tropicalización, con el fin de elaborar un producto final que cumpla con las capacidades necesarias para trabajar en un medio ambiente adverso. Protegiendo a la parte electrónica de las impurezas del medio y posible humedad o altas temperaturas.

- Aislamiento del contendor.
- Revestimiento de las placas.
- Protección



Figura 4.35: Material sintético para la tropicalización en los sensores.

Un factor importante dentro de la tropicalización es el aislamiento del instrumento de la humedad, ya que esta afecta en gran medida el funcionamiento en la toma de mediciones. Para evitar esto, se coloca un material sintético que absorbe la humedad cerca de la tarjeta de adquisición de datos para el sensor. Este material sintético no tiene color, pero conforme a su uso y absorción de la humedad tiende a colorearse de blanco como se observa en la [Figura 4.35](#).

4.5. Análisis de escalabilidad, disponibilidad y robustez de los diseños

El SAD cuenta con diferentes características que se han dotado previamente a todos los diseños expuestos dentro de este trabajo de tesis. Una de estas características es la replicación maestro/esclavo. Esto permite mantener redundancia de datos en varias instancias del SAD para proveer al sistema de alta disponibilidad. La escritura en una instancia maestra se propaga a todos los esclavos de esta. Además, un nodo esclavo puede a su vez ser maestro de los elementos incorporados dentro de la placa como son conversor de señal, reloj a tiempo real, memorias seriales, etc. Esto crea cadenas maestro esclavo para delegar la carga de las sincronizaciones en los esclavos y mejorar el rendimiento del sistema. La replicación maestro esclavo ha sido usada en el SAD para proporcionar un mecanismo de sincronización dentro de un mismo arreglo de sensores.

Otra ventaja de este sistema es la de poder delegar las lecturas en los diferentes dispositivos esclavos, de manera que solo las escrituras se realicen en el dispositivo maestro y liberando a este de carga. Al poder poseer un nodo maestro y varios dispositivos esclavos, la carga de lecturas se podrá dividir entre los diferentes esclavos, proporcionando una velocidad de lectura muy superior. Este caso no siempre puede ser una opción. En sistemas donde la escritura de un dato y su posterior lectura están muy cercanas temporalmente esta estrategia puede dar lugar a fallos. Esto es porque la propagación de un dato desde un maestro a sus diferentes esclavos no es instantánea. Es decir, en cierto momento, un dato contenido en el dispositivo maestro puede no existir aún en alguno de sus dispositivos esclavos.

El SAD permite almacenar los datos de forma persistente. Esta opción es altamente configurable, pudiendo fijar el tiempo entre salvados o la cantidad de datos que se deben escribir antes de realizar dicho salvado.

4.5.1. Escalabilidad

La escalabilidad es la habilidad que tiene un sistema de adaptarse a un crecimiento de carga sin perder calidad en los servicios ofrecidos. Normalmente la escalabilidad se realiza hacia arriba, es decir, aumentando el tamaño y la potencia del sistema; pero también puede ser hacia abajo, utilizando solo los recursos necesarios en situaciones de baja demanda.

De manera general los tres diseños cuentan con un sistema escalable para el aumento

de sensores, ya que estos utilizan el protocolo de comunicación RS485 que permite la conexión de hasta 32 sensores con placas esclavos en cada uno.

Un punto a considerar es la capacidad de procesamiento para manejar una gran cantidad de sensores, en donde la microcomputadora Raspberry PI lleva la ventaja, pero cuya situación no es factible que se presente, debido a que una EMA se compone máximo de 10 dispositivos. Por otra parte se encuentra el consumo de energía por el canal de comunicación, donde a mayor número de elementos esclavos se tendría que considerar un aumento de energía, en donde el microcontrolador PIC tiene ventaja, dado el bajo consumo en la placa maestro y por ende del canal de comunicación. Un elemento que posee estas características en términos medios es el Arduino.

4.5.2. Disponibilidad

La disponibilidad de un sistema software es el grado con el que los recursos del dicho sistema son accesibles por los usuarios. Esta no solo se refiere al tiempo durante el cual un sistema no está caído, sino que es el tiempo en el que el usuario puede interactuar con el sistema de manera correcta. Cualquier circunstancia que impida la correcta utilización de este por parte del usuario final se considerará como fallo del servicio y, por lo tanto, como tiempo no disponible del sistema. Estas circunstancias abarcan desde la caída completa del servicio hasta tiempos de respuesta demasiado altos.

También se entiende la alta disponibilidad en el ámbito de los datos. Un sistema es altamente disponible si se asegura la persistencia de los datos en cualquier circunstancia. Una pérdida de datos puede ser crítica y con toda seguridad afecta a la continuidad del proyecto.

El principal indicador de este factor es, por supuesto, el tiempo de disponibilidad del servicio. Prácticamente se puede asegurar que ningún sistema esté 100 % disponible a lo largo de un tiempo más o menos extenso. Para categorizar los sistemas en cuanto a su disponibilidad, existe el método de los “nueves”; el porcentaje de tiempo que un sistema puede ofrecer servicio al usuario. La Tabla 4.11 muestra las diferentes categorías en las que se puede emplazar un sistema:

Es importante señalar que no todos los sistemas necesitan cumplir una disponibilidad de 5 “nueves” o más. Cada sistema tendrá unas necesidades específicas y diferentes usos y usuarios. El sistema puede recopilar la información de manera discreta, así como

Tiempo disponible	Tiempo no disponible	Tiempo caído al año	Tiempo caído a la semana
98 %	2 %	7.3 días	3 horas, 22 minutos
99 %	1 %	3.65 días	1 hora, 41 minutos
99.8 %	0.2 %	17 horas,	30 minutos
99.9 %	0.1 %	8 horas,	45 minutos
99.99 %	0.01 %	52.5 minutos	1 minuto
99.999 %	0.001 %	5.25 minutos	6 segundos
99.9999 %	0.0001 %	31.5 segundos	0.6 segundos

Tabla 4.11: Categorías de los sistemas en cuanto a disponibilidad.[1]

Plataforma	Tiempo disponible	Tiempo no disponible	Tiempo caído al año	Tiempo caído a la semana
Microcontrolador	96,76 %	3,23 %	11,82 días	5 horas, 27 minutos
Arduino	94,92 %	5,08 %	18,54 días	8 horas, 33 minutos
Raspberry PI	99,993 %	0,00616 %	52.5 minutos	30 segundos

Tabla 4.12: Valores de fallos para las diferentes plataformas a tiempo real.

a tiempo real. Cuando los datos se obtienen de manera discreta, estos se encuentran disponibles un ciento por ciento debido a que están respaldados en un banco de memorias seriales dentro de la tarjeta esclavo.

Por otro lado, al obtener los datos a tiempo real, se produce una pérdida debido a la sincronización y tiempos en los que se realiza el muestreo de las mediciones para cada variable, según lo disponga la tarjeta maestro, así como la escritura en la memoria de almacenamiento masivo. Esta pérdida de información se debe a que la tarjeta maestro requiere de cierto tiempo para recibir los datos transmitidos de cada sensor.

Las pruebas de disponibilidad se realizaron por un periodo de 5 días y basado en la función de tiempo de fallos para equipos electrónicos cuyo valor es constante, se pudieron determinar los tiempos en los que se encuentran funcionando cada una de las estaciones con las diferentes tecnologías: Microcontrolador, Arduino y Raspberry PI.

Como se observa en la Tabla 4.12, los valores de fallos para las plataformas Microcontrolador PIC y Arduino, son considerables en comparación con Raspberry PI. Esto se debe principalmente a la concurrencia que Raspberry PI puede desarrollar, es decir, la microcomputadora ejecuta varios procesos para adquirir los datos de cada tarjeta esclavo.



UNIVERSIDAD DE CUENCA
desde 1867

Capítulo 5

Análisis económico y consumo energético

5.1. Costo actual de recopilación de datos

Los componentes utilizados en este trabajo de tesis se han presupuestado en base a los precios establecidos en sitios web para tiendas de componentes electrónicos. Inicialmente, se contempló un presupuesto más extenso con varias opciones de compra buscadas a través de varios sitios web, después se ajustó a la realidad del trabajo de tesis. En la Tabla 5.1 se indica el costo de la estación Campbell[13].

Dentro de los costos de la estación meteorológica se incluyen los diferentes equipos a utilizar para realizar las mediciones y obtener un conjunto de archivos para cada variable.

5.1.1. Costo de diseños implementados

Dentro de los diseños se implementaron tres diferentes arquitecturas para las cuales se obtuvo diferentes valores dentro del mercado debido a su ensamblaje prefabricado. Los sensores utilizados son los que se encontraban dentro de la estación meteorológica. A continuación se presentan los costos para la implementación de los diferentes dispositivos.

5.1.2. Placa esclavo: Captura y procesamiento de datos

Dentro de esta placa se consideró los costos únicamente de los elementos activos y pasivos, ya que su diseño e implementación es producto del desarrollo del tema de tesis.



Estación meteorológica Campbell Scientific			
Cantidad	Descripción	Costo unitario	Total
Datalogger			
1	Datalogger CR800, Opción 1, CSI	\$ 1.495,00	
1	Fuente Alimentación CH100, CSI	\$ 266,00	
1	Batería 12V-24Amp-Hr c/Montura, CSI	\$ 252,00	
		\$ 2.013,00	
Software			
1	Software Support d/Datalogger, LN, CSI	\$ 824,00	
1	Software RTMC Pro, CSI	\$ 846,00	
1	CSI Web Server	\$ 358,00	
1	Equipo para almacenamiento en el centro de control y visualización WS Estándar	\$ 3.200,00	
		\$ 5.228,00	
Sensores			
1	Sensor de Temperatura y Humedad - Sonda Temp y Hum CS215, -PT, CSI Protector Rad solar 6 Platos, CSI	\$ 651,00	
1	Sensor de Velocidad y Dirección del Viento - Juego Sen Vel y Dir Viento, -PT-2, CSI Brazo p/Sensores 0.6m, CSI Paq. Montaje Ángulo Recto, CSI	\$ 1.029,00	
1	Sensor de radiación solar, Piranómetro SP-110 -PT, CSI, Base p/Montaje d/Sensor Solar, CSI, Base Nivelante p/Piranómetro CS300, CSI Brazo p/Sensores 0.6m, CSI	\$ 581,00	
1	Sensor de Precipitación, Pluviómetro 0.2 mm 9.6"	\$ 826,00	
		\$ 3.087,00	
Materiales			
1	Caja p/Intemperie 16x18", 2, CSI	\$ 528,00	
	Total	\$ 10.856,00	

Tabla 5.1: Costes de la Estación Meteorológica Campbell Scientific[13].

Placa esclavo - Registrador de datos		
Cantidad	Descripción	Precio unitario
1	Microcontrolador PIC16F886	\$ 2,40
1	Reloj DS1307	\$ 4,22
1	Cristal de cuarzo 32.258 KHz	\$ 0,25
10	Resistencias de alta precisión 0,25 W	\$ 0,08
2	Amplificadores operacionales TL082	\$ 0,75
1	Fuente de alimentación negativa 7606	\$ 3,50
12	Capacitores cerámicos	\$ 0,60
6	Capacitores electrolíticos	\$ 0,25
2	Memorias seriales 24LC512	\$ 2,35
1	ADC MCP3550 22 bits	\$ 3,98
1	MAX485 - Comunicación serial	\$ 4,10
2	Conectores RJ45	\$ 0,25
Total		\$ 24,52

Tabla 5.2: Costos del dispositivo esclavo para el registro de datos.

Se debe considerar que se requiere una placa por cada sensor existente en la estación meteorológica que implica seis dispositivos similares de uso general para cualquiera de las tres arquitecturas. En las Tablas 5.2 y 5.3 se detallan los costos del dispositivo esclavo como de los sensores utilizados, respectivamente.

5.1.3. Placa maestro con Microcontrolador PIC

De la misma manera que la placa esclavo, este dispositivo maestro con mayores características se encuentra compuesto de diferentes elementos que reducen el costo con respecto a otras arquitecturas, ya que se incluyen componentes genéricos para la implementación. También es importante mencionar que esta simplifica ciertos dispositivos no necesarios para el diseño del sistema e implican una reducción al momento de colocar diferentes nodos meteorológicos. En la Tabla 5.4 se observa sus componentes y costos.

5.1.4. Placa maestro con Arduino Mega 2560

El costo de este dispositivo es mayor comparado con la arquitectura Microcontrolador PIC debido a que es una placa prediseñada que se implementa a través de software. También, al necesitar otras características como por ejemplo el almacenamiento masi-

Sensores		
1	Sensor de Temperatura y Humedad Sonda Temp y Hum CS215, -PT, CSI Protector Rad solar 6 Platos, CSI	\$ 651,00
1	Sensor de Velocidad y Dirección del Viento Juego Sen Vel y Dir Viento, -PT-2, CSI Brazo p/Sensores 0.6m, CSI Paq. Montaje Ángulo Recto, CSI	\$ 1.029,00
1	Sensor de radiación solar Piranómetro SP-110 -PT, CSI Base p/Montaje d/Sensor Solar, CSI Base Nivelante p/Piranómetro CS300, CSI Brazo p/Sensores 0.6m, CSI	\$ 581,00
1	Sensor de Precipitación Pluviómetro 0.2 mm 9.6"	\$ 826,00
Total		\$ 3.087,00

Tabla 5.3: Costos de los sensores utilizados en el SAD.

UNIVERSIDAD DE CUENCA
desde 1867

Placa maestro: Microcontrolador PIC - Concentrador de datos		
Cantidad	Descripción	Precio unitario
1	Microcontrolador PIC18F4620	\$ 5,58
1	Tarjeta Kingston micro SD 8 Gb	\$ 10,00
1	MAX485 - Comunicación serial	\$ 4,10
8	Resistencias de alta precisión 0,25 W	\$ 0,08
5	Conectores RJ45	\$ 0,25
1	Modulo Ethernet ENC28J60	\$ 9,90
Total		\$ 29,91

Tabla 5.4: Costos de la placa maestro con Microcontrolador PIC.

Placa maestro: Arduino Mega 2560		
Cantidad	Descripción	Precio unitario
1	Arduino Mega 2560	\$ 39,31
1	Tarjeta Kingston micro SD 8 Gb	\$ 10,00
6	Resistencias de alta precisión 0,25 W	\$ 0,08
5	Conectores RJ45	\$ 0,25
1	MAX485 - Comunicación serial	\$ 4,10
1	Modulo Ethernet W5100	\$ 16,00
Total		\$ 69,74

Tabla 5.5: Costos de la placa maestro con Arduino Mega 2560.

Placa maestro: Raspberry Pi Modelo B+		
Cantidad	Descripción	Precio unitario
1	Raspberry PI Modelo B+	\$ 45,00
1	MAX485 - Comunicación serial	\$ 4,10
2	Resistencias de alta precisión 0,25 W	\$ 0,08
5	Conectores RJ45	\$ 0,25
1	Tarjeta Kingston micro SD 8 Gb	\$ 10,00
Total		\$ 59,43

Tabla 5.6: Costos de la placa maestro con Raspberry PI Modelo B+.

vo en memoria y comunicación Ethernet utiliza módulos que implican un costo extra para su desarrollo pero que son de gran utilidad al ser compatibles con el dispositivo y reduciendo los errores en la gestión de la información. En la Tabla 5.5 se observa los elementos utilizados.

5.1.5. Placa maestro con Raspberry PI Modelo B+

Para el dispositivo Raspberry PI Modelo B+ el costo resulto similar al Arduino, debido a que estas arquitecturas se han implementado con fines de desarrollo. En este marco, Raspberry PI brinda ventajas dado que al ser una minicomputadora utiliza un sistema operativo gratuito sin aumentar costos de este tipo. Este dispositivo cuenta con los módulos necesarios para emular la tarjeta maestro sin la necesidad de adquirir módulos externos. Esta característica puede ser una desventaja ya que contiene otros componentes que son innecesarios y aumentan su costo en el mercado. En la Tabla 5.6 se visualiza los costos de sus elementos.

Los costos de los diseños por estación meteorológica son los siguientes:

- Costo total de la Estación Meteorológica con Microcontrolador PIC: \$ 177,03
- Costo total de la Estación Meteorológica con Arduino Mega 2560: \$ 216,86
- Costo total de la Estación Meteorológica con Raspberry PI Modelo B+: \$ 206,55

5.2. Relación costo/beneficio

Para la medición del impacto del proyecto implementado se utilizó un modelo de análisis de costos y beneficios basado en el cálculo de valores directos e indirectos dentro de la implementación, relacionados con la compra de equipos o programas informáticos. De igual manera para el estudio de los beneficios se utilizó un método de análisis basado en los beneficios de los gastos realizados con el uso de la estación Campbell Scientific en contraste con la implementación de las tres plataformas[34].

5.2.1. Identificación y cálculo de costos

- **Costos directos**

Hardware y comunicaciones. Dentro de este rubro se incluyen los costos de infraestructura electrónica y de conexión que se encuentran inmersos directamente en las estaciones meteorológicas entre los que destacan: microprocesadores, tarjetas electrónicas, microcomputadoras, sensores, memorias, entre otros. Los costos de las comunicaciones comprenden los valores de cableado, acceso al servidor web, entre otros.

Software. Dentro de este rubro se consideran los costos de software para el desarrollo del proyecto: licencias, mantenimiento y plataforma de desarrollo.

Migración de datos e integración. Son los costos de tiempo de desconexión y posibles pérdidas de datos.

Otros costos. Dentro de este rubro se colocan los costos que no pueden ser incorporados anteriormente, como por ejemplo, los costos por consumo de energía y tropicalización.

- **Costos indirectos**

Backups. Este rubro se encuentra compuesto por el conjunto de componentes para realizar los respaldos correspondientes a los datos.

Auto entrenamiento. Es el costo que se invierte en la capacitación para el uso de los dispositivos disponibles en las estaciones meteorológicas.

Rubros	Microcontrolador	Arduino	Raspberry PI	Estación Campbell Scientific
Costos Directos				
Hardware y Comunicaciones	\$ 3.264,03	\$ 3.303,86	\$ 3.293,55	\$ 4.582,00
Software	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 2.028,00
Migración de datos e integración	\$ 10,50	\$ 10,50	\$ 32,00	\$ 0,00
Otros costos	\$ 528,00	\$ 528,00	\$ 528,00	\$ 528,00
Costos indirectos				
Backups	\$ 7,54	\$ 7,54	\$ 7,54	\$ 3.200,00
Auto entrenamiento	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
Tiempo en solucionar problemas	\$ 177,03	\$ 216,86	\$ 206,55	\$ 20,00
Total	\$ 3.987,10	\$ 4.066,76	\$ 4.067,64	\$ 10.358,00

Tabla 5.7: Análisis de costos directos e indirectos.

Tiempo en solucionar problemas. Dentro de este rubro se ha considerado el costo aproximado en solucionar un problema que en el peor de los casos sería cambiar las tarjetas electrónicas de la estación meteorológica averiada.

El objetivo principal del análisis de costos es identificar los rubros incluidos en el proyecto y que generalmente se colocan en un plan de cuentas. Cabe recalcar que no es necesario tener costos en todos los rubros ya que se trata de una estructura general. Estos valores se presentan en la Tabla 5.7.

5.2.2. Identificación y cálculo de beneficios

Dentro de esta identificación se pueden distinguir diferentes beneficios como son de carácter económico y otros de tipo social. Para el desarrollo del proyecto, los beneficios económicos son el principal factor que se debe tener presente.

De esta manera se pretende disminuir significativamente los valores en gastos por la utilización de un servicio, adquisición de equipos, gastos operativos, el almacenamiento, energía eléctrica, entre otros[35].

Para determinar los beneficios económicos por los gastos realizados se realiza la diferencia entre los gastos actuales y los gastos post-implementación. La medición de gastos actuales considera cada una de las actividades que permiten el funcionamiento de la estación meteorológica adquirida Campbell Scientific, actualmente en funcionamiento. Los gastos post implementación corresponden al conjunto de rubros que se emplean para el desarrollo de las tarjetas electrónicas basadas en las tres tecnologías analizadas que brinden el mejor funcionamiento, al menor costo y consumo de energía. El análisis de los beneficios económicos se muestra en la Tabla 5.8.

El principal factor que se analiza dentro de la relación costo – beneficio es el ROI,

Rubros	Microcontrolador	Arduino	Raspberry PI	Estación Campbell Scientific
Beneficios económicos	\$ 6.370,90	\$ 6.291,24	\$ 6.290,36	\$ 0,00
Costos Directos	\$ 3.802,53	\$ 3.842,36	\$ 3.853,55	\$ 7.138,00
Costos Indirectos	\$ 184,57	\$ 224,40	\$ 214,09	\$ 3.220,00

Tabla 5.8: Análisis de beneficios económicos.

que nos permite saber el retorno sobre la inversión y nos indica en que porcentaje se obtuvo beneficios económicos y cuya fórmula es:

$$ROI = \frac{Beneficios}{Costos\ acumulados} \quad (5.1)$$

	Microcontrolador	Arduino	Raspberry PI	Estación Campbell Scientific
ROI	59,79 %	54,70 %	54,64 %	0,00 %

5.3. Análisis de consumo de energía de equipos

Este modelo normalmente es utilizado para generar energía en lugares aislados donde no hay accesos de redes convencionales de energía eléctrica. El uso de sistemas fotovoltaicos para este tipo de aplicaciones aisladas a la red permite aprovechar la disponibilidad de una fuente de energía libre y gratuita en el mismo lugar de consumo. La flexibilidad y modularidad de las instalaciones y la amplia autonomía que estos sistemas proporcionan es la principal ventaja.

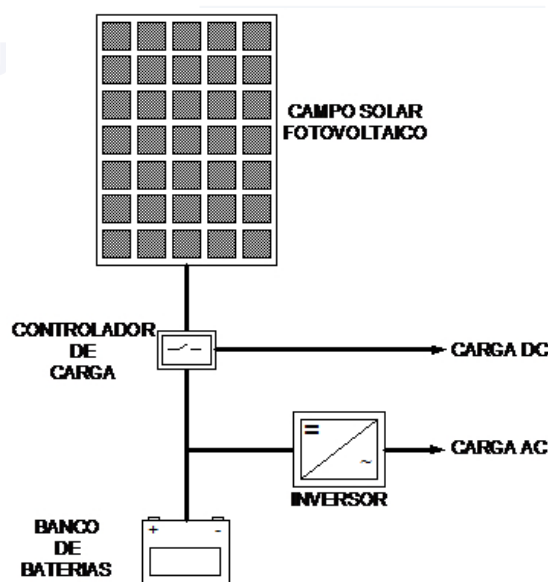


Figura 5.1: Esquema de un sistema fotovoltaico aislado.

Consta de los siguientes elementos: módulo fotovoltaico y estructura soporte, baterías, regulador de carga, un inversor que convierten la corriente continua en alterna y un sistema de protecciones.

Los sistemas fotovoltaicos aislados requieren de baterías, generalmente de tipo plomo-ácido, secas o de gel, para almacenar la energía para uso posterior. El tiempo de vida de una batería depende en gran medida de la forma de utilización y del mantenimiento que el usuario le brinde a las instalaciones, respetando un principio muy básico, no se puede consumir más energía de la almacenada.

La batería está conectada al Sistema fotovoltaico mediante un controlador de carga. El controlador de carga protege la batería contra las sobrecargas o descargas, y también puede proporcionar información sobre el estado del sistema o permitir la medición de la carga y la energía utilizada.

5.3.1. Análisis de la carga

Se define la energía requerida en corriente alterna por día como resultado del análisis de carga y es: $E_{RCA}[mA/h]$

Se define también un factor de corrección, F_{Conv} , y es el factor que se usa para cubrir las pérdidas y la eficiencia misma de los inversores al pasar de corriente continua a corriente alterna y está dada como:

$$F_{Conv} = 1,5$$

Hay que definir la tensión de alimentación del sistema V_{SIS} , que siempre será un múltiplo de 12V (tensión nominal de una batería), lo sugerido para este análisis es 12V (las baterías estarán conectadas en paralelo), por lo que podemos definir la corriente requerida por día I_D :

$$I_D = \frac{E_{RCC}}{V_{SIS}} = 3,552Ah$$

Hay que considerar un factor de seguridad por daños y mantenimiento F_{SEG} , que estaría en el orden del 15 %, por lo que tenemos una corriente corregida por día I_{DCorr} .

$$I_{DCorr} = I_D \cdot 1,15 = 4,0848Ah$$

Este valor se ve afectado por la heliofanía del lugar, H (cuantas horas al día del sol hay en promedio), cuyo factor mínimo es de 3.21 en el mes de abril (Fuente INAMHI)

para Cañar, y considerando el mismo para todos los sitios donde van a estar emplazadas las estaciones.

$$I_P = \frac{I_{DCorr}}{H} = 1,272A$$

5.3.2. Paneles solares

Se considera para este análisis paneles solares de 50Wp, con dimensiones de 1110 x 490 x 30 mm, con una corriente de 2,9A.

$$V_{Pan} = 12V$$

$$I_{Pan} = 2,9A$$

$$P_{Pan} = 50W$$

$$A_{Pan} = 0,5439m^2$$

$$F_{Ten} = \frac{V_{Sis}}{V_{Pan}} = \frac{12}{12} = 1$$

El factor de tensión F_{Ten} nos indica el número de módulos colocados en serie. Bajo estas condiciones tenemos que el número de paneles N_{Pan} estará dado por:

$$N_{Pan} = \text{Entero} \frac{I_P \cdot F_{Ten}}{I_{Pan}} = \text{Entero} \frac{18,22 \cdot 1}{2,9} = 6,28 \approx 7$$

El área requerida en paneles solares se calcula incluyendo un factor de uso F_U del 30 % por los elementos de sujeción y por mantenimiento.

$$A = A_{Pan} \cdot F_U \cdot N_{Pan} = 0,544 \cdot 1,3 \cdot 7 = 4,95m^2$$

5.3.3. Sistema de acumulación

Se ha escogido las baterías ácido de 60 Ah, 12 V, libre de mantenimiento con electrolito líquido y rejillas de Plomo-Calcio. Se ha considerado una reserva en el banco de baterías de 2 días.

$$V_{Bat} = 12V$$

$$I_{Bat} = 60Ah$$

$$Reserva = 2días$$

Frecuencia	Corriente de consumo (mA) con oscilador interno				Consumo para la transmisión de datos
	Placa Esclavo	Placa Maestro: Microcontrolador	Placa Maestro: Arduino	Placa Maestro: Raspberry PI	Placa Esclavo a Placa Maestro
8 MHz	11	12	247	1379	56
4 MHz	10	12	247	1379	55
2 MHz	10	12	247	1379	48
1 MHz	10	12	247	1379	44

Tabla 5.9: Consumo de corriente para las tarjetas electrónicas maestro y esclavo individuales.

Frecuencia	Placa Esclavo	Placa Maestro: Microcontrolador	Tiempo de funcionamiento	Factor de consumo diario	Consumo de transmisión de Placa Esclavo a Placa Maestro	Total (mAh)
8 MHz	1584	288	46080	4,8	0,074666667	1872
4 MHz	1440	288	46080	4,8	0,073333333	1728
2 MHz	1440	288	46080	4,8	0,064	1728
1 MHz	1440	288	46080	4,8	0,058666667	1728
		Placa Maestro: Arduino				
		5928				5928
		Placa Maestro: Raspberry PI				
		33096				33096

Tabla 5.10: Análisis de corriente para una placa maestro y un conjunto de 6 sensores.

La Capacidad nominal del banco C_{Banco} está dada por:

$$C_{Banco} = I_{DCorr} \cdot Reserva = 8,1696Ah$$

Hay que corregir este valor por la capacidad de descarga, este valor se ha considerado de 0.8.

$$C_{BCorr} = \frac{C_{Banco}}{0,8} = 10,212Ah$$

El número de baterías N_{Bat} está dada por:

$$N_{Bat} = \frac{C_{BCorr} \cdot F_{Ten}}{I_{Bat}} = 0,1702 \approx 1$$

La medición de corriente para cada una de las plataformas se la realizó con el sistema en funcionamiento, es decir, las cargas de consumo para los sensores y tarjetas de adquisición se encuentran incluidas en el consumo. También, se realizó mediciones acorde a la frecuencia de funcionamiento del Microcontrolador PIC, obteniendo como resultado una variación leve en el consumo energético de las tarjetas. Como se observa en las Tablas 5.10y 5.11 el consumo energético tanto para Arduino y aún más para Raspberry, es extremadamente alto debido al conjunto de elementos adicionales que se



Análisis de carga				
	Microcontrolador PIC	Arduino Mega 2560	Raspberry PI Modelo B+	Unidad
$I_D = E_{Rcc} / V_{SIS}$	1.872	5.928	33.096	Ah
$I_{DCorr} =$	2.153	6.8172	38.06	Ah
$I_P = I_{DCorr} / H =$	0.67	2.12	11.85	A
Paneles solares				
Se considera para este análisis paneles solares de 50W/p, con dimensiones de 1110 x 490 x 30 mm, con una corriente de 2.9A.				
$V_{Pan} = 12V$				V
$I_{Pan} = 2.9A$				A
$P_{Pan} = 50W$				W
$A_{Pan} = 0.5439m^2$				m^2
$F_{Ten} = V_{Sis} / V_{Pan} = 12 / 12 = 1$				U
$N_{Pan} =$	0.231	0.732	4.0885	Paneles
$A =$	0.163	0.5179	2.89	m^2
Sistema de acumulación				
$V_{Bat} = 12V$				V
$I_{Bat} = 60Ah$				Ah
Reserva=2 días				días
C_{Banco}	4.3	13.6	76.12	Ah
C_{BCorr}	5.382	17.043	95.151	Ah
N_{Bat}	0.0897	0.28	1.586	U

Tabla 5.11: Análisis energético para determinar el número de paneles solares.

encuentra en estos dispositivos, que si bien tienen mayores prestaciones no son útiles dentro del proyecto implementado[36].

Capítulo 6

Conclusiones y Recomendaciones

6.1. Conclusiones

- La parte de diseño e implementación de los dispositivos cumplen con todos los objetivos propuestos. El dispositivo de adquisición construido tiene la capacidad de medir condiciones ambientales a través de los sensores de las diferentes variables meteorológicas; además permite el acceso a internet mediante el acceso a comunicación [TCP/IP](#).

El dispositivo cumple con las características propuestas en la tesis, por lo que se concluye que es totalmente funcional y útil para futuras aplicaciones en el campo de medición y monitoreo de variables meteorológicas.

- El sistema de cobro está basado en un lector de monedas similar a los empleados en máquinas expendedoras, no obstante, para el desarrollo del prototipo de Nodo Multimedia se vio la necesidad de realizar modificaciones sobre el lector de monedas que disponíamos, entre otras cosas, se agregó un sistema de retención y deposito temporal, sin embargo para la implementación de un producto final de Nodo Multimedia no sería viable realizar este tipo de modificaciones, es preferible adquirir un lector de monedas con las características mencionadas en la página 61, en el mercado existen opciones que disponen por separado un validador de monedas y un deposito temporal de monedas.
- Al analizar las diferentes normativas de regulación a nivel mundial, para el presente trabajo de tesis se ha elegido aquellas emitidas por [OMM](#), ya que a comparación de la normalización [ASTM](#), sus valores representan de mejor manera el ambiente

	TEMPERATURA	HUMEDAD	VELOCIDAD DEL VIENTO	DIRECCIÓN DEL VIENTO	RADIACIÓN SOLAR	PRECIPITACIÓN	PRESIÓN
Unidades	°C / °F	%	m/s	deg	W/m ²	mm	hPa
Rango	-30 a +40 °C	5 a 100 %	0 - 70 min	0 a 360 deg	0 a 1800 W/m ²	0 a >400 mm	920 a 1080 hPa
Resolución	0.1 °C	1 %	1 m/s	10 deg	1 W/m ²	0.1 mm	0.1 hPa
Precisión	0.1 °C a 0.5 °C	<3 %	±5 m/s para <5 m/s y ±10 % para >5 m/s	±5 deg	±5 %	±0.1 mm para <5 mm y ±2 % para >5 mm	0.1 hPa
Altura de Medición (m)	1.5		6 a 10	6 a 10			1.5
Tiempo de Muestreo Actualización (s)	12	12	2.25	12	50s a 1min	12	12
Tiempo para Promedio/Max/Min	1/10 min y 6/12 horas	1 / 10 min	3 s / 1 min / 10 min	1 min / 10 min		1 min / 10 min	1 min / 10 min

Tabla 6.1: Valores establecidos para Variables Meteorológicas.

en análisis, como es el rango de temperatura establecido (-30 °C a 40 °C) que comprende la variación propia de ésta zona (-2 °C a 18 °C). Además presenta valores específicos respecto al tiempo de muestreo, siendo el parámetro de mayor interés, a diferencia de la norma perteneciente a ASABE que en particular, se especializa en sistemas de agricultura.

- Mediante el conjunto de tablas para cada una de las variables meteorológicas, se estableció un análisis comparativo y así determinar los valores característicos para cada parámetro a considerar en los sensores de la estación. Estos valores definidos se presentan en la Tabla 6.1.
- Para la variable Radiación Solar se tomó en cuenta las especificaciones propias del sensor, como también para el tiempo de muestreo seleccionado para la medición de Velocidad de Viento. Los valores establecidos pueden ser modificados a futuro, acorde con las pruebas de campo realizadas.
- Una vez realizado el estudio para determinar las características de cada una de las plataformas se comparó el funcionamiento de los equipos, de manera práctica, basados en los parámetros de análisis de costos, consumo energético y complejidad computacional, como se observa en la Tabla 6.2.
- En el análisis de costos, la plataforma Microcontrolador PIC es aquella que tiene mayor ventaja en comparación a las dos restantes, debido al menor valor de su tarjeta maestro. Este disminuye su costo al ser un elemento que tiene una programación de nivel más bajo en comparación con el de un microcomputador como la Raspberry, aunque aumente su complejidad computacional debido a la configuración de diferentes registros.
- El costo de software del Nodo Multimedia es un aspecto de vital importancia ya que a futuro no se trata de la implementación de una sola unidad, sino de varias,

Nombre	PIC Microchip	Arduino 2560	Raspberry PI
Modelo utilizado	18F4620	R3	Modelo B
Precio de implementación	\$ 177,03	\$ 216,86	\$ 206,55
Consumo energético (Ah)	1,872	5,928	33,096
Complejidad computacional	Avanzado	Medio	Medio
Tamaño	2,095"x0,625"	2,95"x2,10"	3,37"x2,125"
Procesador	PIC18F4620	ATMega2560	ARM11
Velocidad de reloj	31 kHz a 8MHz con 4 Prescalamiento	16 MHz	700MHz
RAM	3968 B	8 KB	256 MB
Flash	64 KB	256 KB	Tarjeta SD
Voltaje de entrada (V)	2 - 5,5	7 - 12,0	5
Potencia mínima	10 (FOSC=8MHz)	42 (0,3 W)	700 mA (3,5 W)
GPIO Digitales	32	54	8
Entradas analógicas	12 10-bit	16 10-bit	-
PWM	5	14	-
I ² C	1	2	1
SPI	1	1	1
UART	1	3	1
IDE Desarrollo	Mikro C for PIC	Arduino Tool	Raspbian
Ethernet	Modulo adicional	Modulo adicional	10/100
USB Maestro	N/A	N/A	2 USB 2.0
Salida de video	N/A	N/A	HDMI, Compuesto
Salida de audio	N/A	N/A	HDMI, Analógico

Tabla 6.2: Análisis comparativo de las diferentes plataformas.

por lo que el costo de licencias de software sería un rubro adicional en el costo final del equipo. El uso de un sistema operativo Linux con licencia GNU GPL garantiza la gratuidad del sistema operativo y de sus componentes, razón adicional por lo que un sistema operativo Linux ha sido escogido para la implementación del Nodo Multimedia.

- Para el consumo energético, se realizaron mediciones de corriente en cada una de las plataformas con una EMA en funcionamiento, emulando las estaciones Campbell Scientific. La plataforma Microcontrolador PIC obtuvo un valor considerablemente bajo en comparación con Arduino y Raspberry, cuyos valores son 3 y 17 veces mayor, respectivamente. Las características de consumo que se implementan con Microcontrolador PIC son las necesarias como el uso del protocolo SPI para el almacenamiento masivo, la transmisión maestro esclavo mediante el protocolo RS485 o la comunicación Ethernet a través de TCP/IP, que suprime el uso de otros elementos incorporados en las tarjetas prefabricadas de Arduino y Raspberry PI. Otra característica que aumenta el consumo se debe a la cantidad de procesos que ejecuta el programa principal de cada plataforma en donde el Microcontrolador PIC simplifica en gran cantidad dado que está programado para una tarea específica.

6.2. Recomendaciones

- Dentro de las [EMA](#), se debe realizar un mantenimiento periódico, no mayor a un año, para la calibración en caso de ser necesario y verificar que los sensores no presenten obstrucciones o piezas desgastadas que interfieran la medición.
- En cuanto a la detección de fallas, se debe verificar periódicamente en el registro de datos si existe la presencia de eventos anormales y así poder realizar mantenimiento o cambio de sensores.
- En caso de cambio de sensores se deben usar sensores que manejen el mismo rango de señal, en caso contrario será necesario adaptar el código de programación para cada nuevo sensor.

6.3. Trabajos a Futuro

- Para trabajos futuros se recomienda incorporar la comunicación maestro esclavo en una sola tarjeta de tal manera que los sensores se encuentren conectados directamente a una sola interfaz que brinde mayor robustez y se reduzca el espacio físico necesario.
- También se pretende crear una base de datos de sensores en el código de programación y la opción de configuración desde la aplicación de monitoreo. Por lo tanto, si se utilizan nuevos sensores, la base de datos se alimentará con la información de cada sensor nuevo.



Apéndices

UNIVERSIDAD DE CUENCA
desde 1867

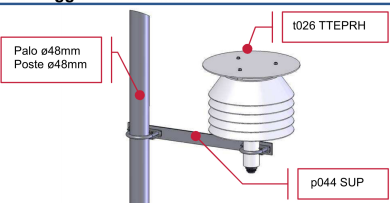
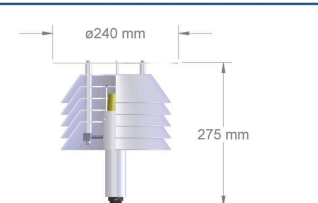
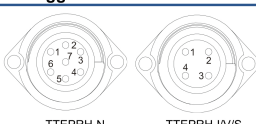


Apéndice A

Especificaciones técnicas, montaje, conexiones del cable y accesorios para los sensores SIAP+MICROS

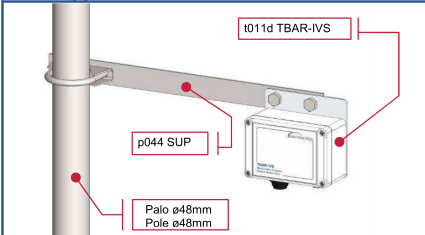
UNIVERSIDAD DE CUENCA
desde 1867

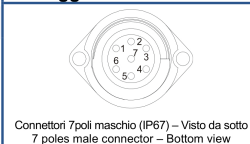
A.1. Sensor de temperatura y humedad relativa

Specifiche Tecniche					Especificaciones Técnicas																																												
Temperatura Aria					Temperature Aire																																												
Campo di misura					-30 ÷ +60 °C																																												
Sensibilità					0,03 °C																																												
Accuratezza					DIN43760 Classe 1/3 (TTEPRH-N) ± 0,1 °C (TTEPRH-I / V / S)																																												
Tipo di sensore					Termoresistenza Pt100 DIN 43760 / Thermoresistencia																																												
Umidità Relativa					Humedad relativa																																												
Campo di misura					0 ÷ 100 % RH																																												
Sensibilità					± 0,5 % RH																																												
Accuratezza					± 2 % RH																																												
Tipo di sensore					Polimero capacitivo compensato in temperatura Polimero capacitivo compensado en temperatura																																												
Caratteristiche comuni					Características comunes																																												
Temperatura di funzionamento					-30 ÷ +60 °C																																												
Ventilazione					Naturale / Natural																																												
Protezioni					Contro inversione di polarità e scariche atmosferiche En contra de inversiones de polaridad y descargas atmosféricas																																												
Alimentazione					+10 ÷ +16 Vdc																																												
Impedenza di uscita (ver. TTEPRH-V)					10 ohm																																												
Carico massimo (ver. TTEPRH-V)					390 ohm																																												
Corrente assorbita (mA)					Corriente absorbida (mA)																																												
Tempo di avvio (TTEPRH-I/V/S)					30 s																																												
Tempo di risposta (TTEPRH-I/V/S)					10 s																																												
Realizzato in					ABS Materiale plastico e viterie inox ABS Material plástico y tornillería INOX																																												
Peso					1,4 kg																																												
Dimensioni					ø = 240 mm ; h = 275 mm																																												
Connettore					(IP67) 4 o 7 poli maschio / 4 o 7 polos macho																																												
Montaggio e Dimensioni					Instalación and Dimensiones																																												
																																																	
Cablaggio del connettore					Cablaje del conector																																												
					<table><tr><th></th><th>Pin 1</th><th>Pin 2</th><th>Pin 3</th><th>Pin 4</th><th>Pin 5</th><th>Pin 6</th><th>Pin 7</th></tr><tr><td>TTEPRH-N</td><td>Alim. 10÷16Vdc</td><td>RH% +0÷1Vdc</td><td>RH% -0÷1Vdc</td><td>Alim. GND</td><td>Temp. I+</td><td>Temp. V+</td><td>Temp. I- ; V-</td></tr><tr><td>TTEPRH-I</td><td>Alim. 10÷16Vdc</td><td>OUT TEMP +4÷20mA</td><td>OUT RH% +4÷20mA</td><td>GND Alim. GND Signal</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>TTEPRH-V</td><td>Alim. 10÷16Vdc</td><td>OUT TEMP +0÷2Vdc</td><td>OUT RH% +0÷2Vdc</td><td>GND Alim. GND Signal</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>TTEPRH-S</td><td>Alim. 10÷16Vdc</td><td>B-RS485</td><td>A-RS485</td><td>GND Alim. GND Signal</td><td></td><td></td><td></td></tr></table>						Pin 1	Pin 2	Pin 3	Pin 4	Pin 5	Pin 6	Pin 7	TTEPRH-N	Alim. 10÷16Vdc	RH% +0÷1Vdc	RH% -0÷1Vdc	Alim. GND	Temp. I+	Temp. V+	Temp. I- ; V-	TTEPRH-I	Alim. 10÷16Vdc	OUT TEMP +4÷20mA	OUT RH% +4÷20mA	GND Alim. GND Signal				TTEPRH-V	Alim. 10÷16Vdc	OUT TEMP +0÷2Vdc	OUT RH% +0÷2Vdc	GND Alim. GND Signal				TTEPRH-S	Alim. 10÷16Vdc	B-RS485	A-RS485	GND Alim. GND Signal			
	Pin 1	Pin 2	Pin 3	Pin 4	Pin 5	Pin 6	Pin 7																																										
TTEPRH-N	Alim. 10÷16Vdc	RH% +0÷1Vdc	RH% -0÷1Vdc	Alim. GND	Temp. I+	Temp. V+	Temp. I- ; V-																																										
TTEPRH-I	Alim. 10÷16Vdc	OUT TEMP +4÷20mA	OUT RH% +4÷20mA	GND Alim. GND Signal																																													
TTEPRH-V	Alim. 10÷16Vdc	OUT TEMP +0÷2Vdc	OUT RH% +0÷2Vdc	GND Alim. GND Signal																																													
TTEPRH-S	Alim. 10÷16Vdc	B-RS485	A-RS485	GND Alim. GND Signal																																													
Connettori 4 e 7poli maschio (IP67) – Visto da sotto Conectores 4 o 7 polos macho – Vista desde abajo																																																	
Accessori					Accessories																																												
Descrizione					Description																																												
Cavo da 5 metri con connettori (per TTEPRH-N)					p041a CAV4P5M Cable de 5 metros con conectores (for TTEPRH-N)																																												
Cavo da 12 metri con connettori (per TTEPRH-N)					p041b CAV4P12M Cable de 12 metros con conectores (for TTEPRH-N)																																												
Cavo da 5 metri con connettori (per TTEPRH-I/V/S)					p041g CAV6P5M Cable de 5 metros con conectores (for TTEPRH-I/V/S)																																												
Cavo da 12 metri con connettori (per TTEPRH-I/V/S)					p041h CAV6P12M Cable de 12 metros con conectores (for TTEPRH-I/V/S)																																												
Supporto per trasduttore meteo					p044 SUP Suporte para transductor meteo																																												
Certificato di taratura in laboratorio					rt026 KRTTTEPRH Certificado de calibración en laboratorio																																												

A.2. Sensor de presión o barómetro

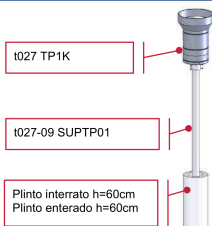
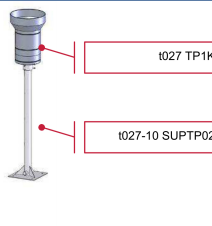
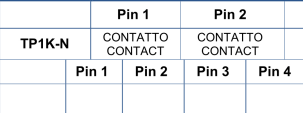
Specifiche Tecniche				Technical Data			
Campo di misura	700 ÷ 1100 mb (hPa) altri range a richiesta / other range on request			Range			
Sensibilità	0.1 mb (hPa)			Sensitivity			
Accuratezza	TBAR-I/V : ±0.9 mb (hPa) TBAR-S : ±0.4 mb (hPa)			Accuracy			
Tipo di trasduttore	Semiconduttore / Semiconductor			Transducer			
Linearità	± 0.3 mb (hPa)			Linearity			
Temperatura di funzionamento	-30 ÷ +60°C			Working temperature			
Protezioni	Contro inversione di polarità e scariche atmosferiche Polarity reverse and transient			Protections			
Alimentazione	+7 ÷ +30 Vdc			Power supply			
Corrente assorbita (mA)	TBAR-I	idle	min. 3	Avg. 13	Supply current (mA)		
		Meas.	5	15			
	TBAR-V/S	idle	< 1				
		meas.	< 3				
Tempo di avvio	1 s			Start up time			
Tempo di risposta	5s (default) ; min = 1s			Response time			
Impedenza di uscita (uscita V)	10 ohm			Output resist (V output)			
Carico massimo (uscita I)	150 ohm			Max load (I output)			
Realizzato in	Materiale plastico e viterie inox Plastic and stainless steel			Housing			
Peso	350 g			Weight			
Dimensioni	119x123x61.5 mm			Dimensions			
Connettore	(IP67) 7 poli maschio / 7 poles male			Connector			

Montaggio e Dimensioni		Installation and Dimensions	
			

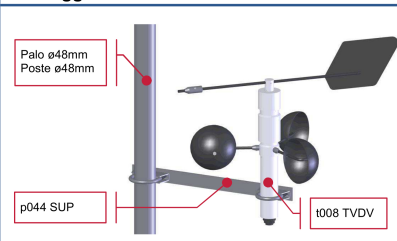
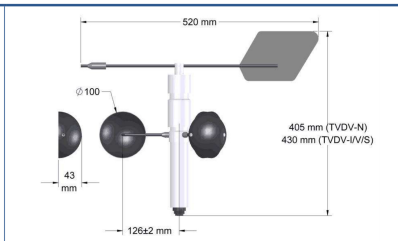
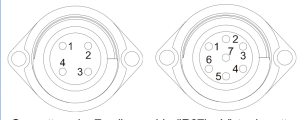
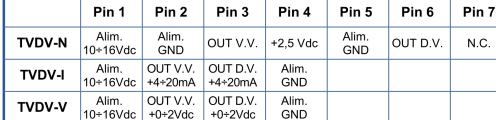
Cablaggio del connettore		Electrical connections						
 Connettori 7poli maschio (IP67) – Visto da sotto 7 poles male connector – Bottom view	TBAR-IVS	Pin 1	Pin 2	Pin 3	Pin 4	Pin 5	Pin 6	Pin 7
		A-RS485	B-RS485	+0÷2Vdc	+4÷20mA	-0÷2Vdc -4÷20mA	+7÷30Vdc (alim.)	GND (alim.)

Accessori		Accessories	
Descrizione		Description	
Cavo fino a 12 metri con connettori	p041c CAV	Cable with connector, max lenght 12 meters	
Supporto per trasduttore meteo	p044 SUP	Steel bracket support for transducer	
Certificato di taratura in laboratorio	rt011 KRTBAR	Laboratory calibration certificate	

A.3. Sensor de precipitación pluviómetro

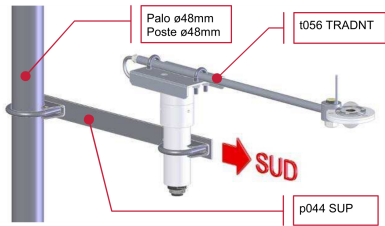
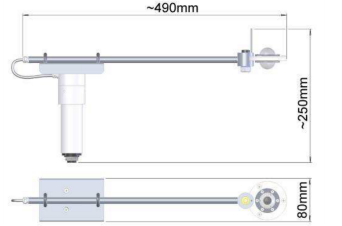
Specifiche Tecniche				Especificaciones Técnicas					
Campo di misura	TP1K-N : illimitato / illimitado TP1K-(I/V) : 0÷82 mm TP1K-S : illimitato / illimitado			Rango de medición					
Costante strumentale	0,2 mm/imp.			Constante Instrumental					
Sensibilità	0,2 mm			Sensibilidad					
Accuratezza	±2% @ 0÷60mm/h ; ±5% @ 60÷200mm/h ; ±7% @ 200÷300mm/h			Precisión					
Elemento sensibile	Bascula oscillante a lama di coltello Bandeja basculante de lama a cuchillo			Elemento sensible					
Temperatura di funzionamento	0 + +70 °C			Temperatura de funcionamiento					
Segnale di uscita (ver. TP1K-N)	Contatto pulito reed (Δt _{imp} :30÷100ms) Contacto limpio reed (Δt _{imp} :30÷100ms)			Señal de salida (ver. TP1K-N)					
Protezioni	Contro inversione di polarità e scariche atmosferiche En contra de inversiones de polaridad y descargas atmosféricas			Protecciones					
Alimentazione	10 ÷ 16 Vdc			Alimentación					
Impedenza di uscita (0÷2Vdc)	10 ohm			Impedancia de salida (0÷2Vdc)					
Impedenza di uscita (resistenza del contatto)	44 Ω (ver. TP1K-N)			Impedancia de salida (resistencia del contacto)					
Carico massimo (4÷20mA)	390 ohm			Carga Máxima (4÷20mA)					
Corrente assorbita (mA)	TP1K-(I)	stand-by	min	typ	max	Corriente absorbida (mA)			
		meas.	5		21				
	TP1K-(V/S)	stand-by	14		30				
		meas.		1	10				
Tempo di avvio (TP1K-I/V/S)	30 s			Tiempo de arranque (TP1K-I/V/S)					
Realizzato in	Lega di alluminio, viterie e bascula in inox Aleación de aluminio, tornillería y bascula en acero inox			Realizado en					
Peso	1,5 kg			Peso					
Dimensioni	ø = 360 mm ; h = 586 mm			Dimensiones					
Connettore	(IP67) 4 poli maschio / 4 polos macho			Conector					
Montaggio e Dimensioni				Montaje y Dimensiones					
									
Cablaggio del connettore				Cablaje del conector					
									
Connettore 4 e 7 poli maschio (IP67) – Visto da sotto Conector 4 y 7 polos macho (IP67) – vista desde abajo									
		TP1K-N	Pin 1	Pin 2	Pin 3	Pin 4	Pin 5	Pin 6	Pin 7
			CONTACTO	CONTACTO					
			Pin 1	Pin 2	Pin 3	Pin 4	Pin 5	Pin 6	Pin 7
		TP1K-IVS	A-RS485	B-RS485	+0÷2Vdc	+4÷20mA	-0÷2Vdc -0÷20mA	+10÷16Vdc Alim. Pwr Supply	GND Alim. Pwr Supply
Accessori				Accesorios					
Descrizione				Descripción					
Cavo fino a 12 metri con connettori		p041 CAV		Cable de hasta 12 metros con conectores					
Supporto da interrare per TP1K		t027-09 SUPTP01		Suporte para instalación en tierra					
Supporto con base per TP1K		t027-10 SUPTP02		Suporte con base para TP1K					
Certificato di taratura in laboratorio		t027 KRTP1K		Certificado de calibración en laboratorio					

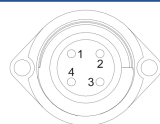
A.4. Sensor de dirección y velocidad del viento

Specifiche Tecniche				Specificaciones Técnicas					
Velocità Vento				Velocidad Viento					
Campo di misura		0,25 ÷ 50 m/s		Rango de medición					
Sensibilità		0,1 m/s		Sensibilidad					
Accuratezza		±0,25 m/s (0÷20m/s) ; ±0,7 m/s (>20m/s)		Precisión					
Costante strumentale		2,44 Hz/m/s		Constante instrumental					
Costante di distanza		< 5 m		Constante de distancia					
Elemento sensibile		3 coppe con trasduttore magnetico 3 copas con transductor magnético		Elemento sensible					
Direzione Vento				Dirección viento					
Campo di misura		0 + 360 °		Rango de medición					
Sensibilità		0,1 °		Sensibilidad					
Accuratezza		± 2°		Precisión					
Elemento sensibile		Banderuola e trasduttore potenziometrico Girante y transductor potenciométrico		Elemento sensible					
Caratteristiche Comuni				Características comunes					
Temperatura di funzionamento				Temperatura de funcionamiento					
Protezioni				Protecciones					
Alimentazione				Alimentación					
Corrente assorbita (mA)		TVDV-I	min.	typ.	max.	Corriente absorbida (mA)			
			stand-by	5				21	
		TVDV-V/S	meas.	14				30	
			stand-by		7				
Tempo di avvio (TVDV-I/V/S)		30 s		Tiempo de arranque (TVDV-I/V/S)					
Impedenza di uscita (t008b TVDV-V)		10 Ohm		Impedancia de salida (t008b TVDV-V)					
Carico massimo (t008a TVDV-I)		390 ohm		Carga máxima (t008a TVDV-I)					
Realizzato in		Lega di alluminio e viterie inox Aleación de aluminio y tornillería inox		Realizado en					
Peso		930 g		Peso					
Dimensioni		520mm ; H=405mm (TVDV-N) ; H=430mm (TVDV-I/V/S)		Dimensiones					
Connettore		(IP67) 4 o 7 poli maschio / 4 o 7 polos macho		Conector					
Montaggio e Dimensioni				Instalación y Dimensiones					
									
Cablaggio del connettore				Cablaje del conector					
									
Connettore 4 o 7 poli maschio (IP67) – Visto da sotto Conector 4 o 7 polos macho – Vista desde abajo			Pin 1	Pin 2	Pin 3	Pin 4	Pin 5	Pin 6	Pin 7
TVDV-N		Alim. 10÷16Vdc	Alim. GND	OUT V.V.	+2,5 Vdc	Alim. GND	OUT D.V.	N.C.	
TVDV-I		Alim. 10÷16Vdc	OUT V.V. +4÷20mA	OUT D.V. +4÷20mA	Alim. GND				
TVDV-V		Alim. 10÷16Vdc	OUT V.V. +0÷2Vdc	OUT D.V. +0÷2Vdc	Alim. GND				
TVDV-S		Alim. 10÷16Vdc	B-RS485	A-RS485	Alim. GND				
Accessori				Accesorios					
Descrizione				Descripción					
Cavo da 5 metri con connettori		p041a CAV4P5M ; p041c CAV8P5M		Cable de 5 metros con conectores					
Cavo da 12 metri con connettori		p041b CAV4P12M ; p041d CAV8P12M		Cable de 12 metros con conectores					
Supporto per trasduttore meteo		p044 SUP		Soporte para transductor meteo					
Certificato di taratura in laboratorio		rt008 KRTVDV		Certificado de calibración en laboratorio					

A.5. Sensor de radiación solar neta

Specifiche Tecniche					Especificaciones Técnicas	
Campo di misura	-500 ÷ 1500 W/m²				Rango de medición	
Campo spettrale	0,3 + >60 µm				Espectro	
Sensibilità termopila	1 mV / W/m²				Sensibilidad de la termopila	
Linearità	30 W/m²				Linealidad	
Accuratezza	30 W/m²				Precisión	
Sensibilità	± 0,5 W/m²				Sensibilidad	
Tempo di risposta	10 s				Tiempo de respuesta	
Tipo di trasduttore	Termopila / Thermopila				Transductor	
Temperatura di funzionamento	-20 + +50°C				Temperatura de funcionamiento	
Protezioni	Contro inversione di polarità e scariche atmosferiche / En contra de inversiones de polaridad y descargas atmosféricas				Protecciones	
Alimentazione	+12 + 16 Vdc				Alimentación	
Corrente assorbita	TRADNT-I		min	typ	Max	Corriente absorbida
		Stand-by	5		21	
		Meas.	14		30	
	TRADNT-V/S	Stand-by		1		
		Meas.		10		
Tempo di avvio	2 30 s				Tiempo de arranque	
Realizzato in	Lega di alluminio e viterie inox Aleación de aluminio y acero inox				Realizado en	
Peso	720 g				Peso	
Dimensioni	490x80x250 mm				Dimensiones	
Connettore	(IP67) 4 poli maschio / poles male				Conectores	

Montaggio e Dimensioni	Montaje y Dimensiones
	

Cablaggio del connettore		Cablaje del conector			
 Connettore 4 poli maschio (IP67) – Visto da sotto Conector 4 polos macho (IP67) – vista desde abajo		Pin 1	Pin 2	Pin 3	Pin 4
	TRADNT-I	(alim) 10÷16 Vdc	+4÷20 mA	-4÷20 mA	(alim) GND
	TRADNT-V	(alim) 10÷16 Vdc	+0÷2 Vdc	-0÷2 Vdc	(alim) GND
	TRADNT-S	(alim) 10÷16 Vdc	B – RS485	A – RS485	(alim) GND

Accessori	Accesorios	
Descrizione	Descripción	
Cavo da 5 metri con connettori	p041a CAV4P5M	Cable de 5 metros con conectores
Cavo da 12 metri con connettori	p041b CAV4P12M	Cable de 12 metros con conectores
Supporto per trasduttore meteo	p044 SUP	Suporte para transductor meteo
Certificato di taratura in laboratorio	rt056 KRTRADNT	Certificado de calibración en laboratorio



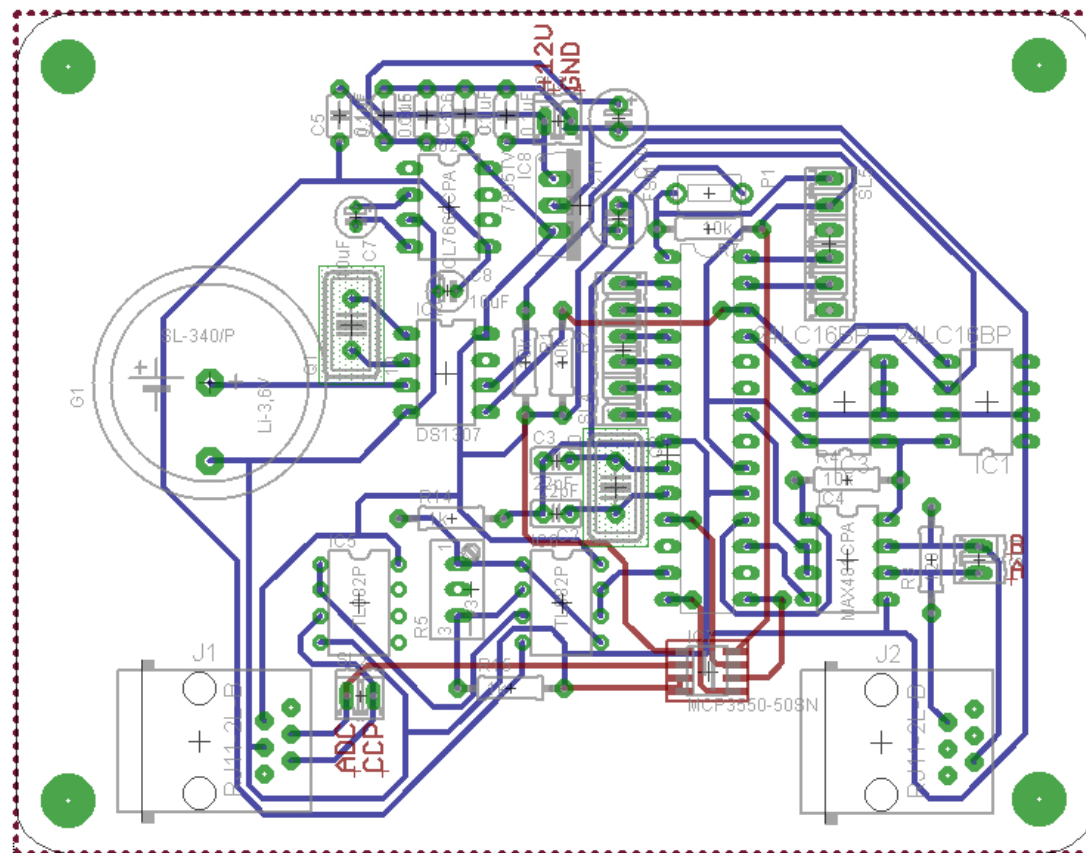
Apéndice B

Diseños esquemáticos y PCB para la Estación Meteorológica Automática

UNIVERSIDAD DE CUENCA
desde 1867

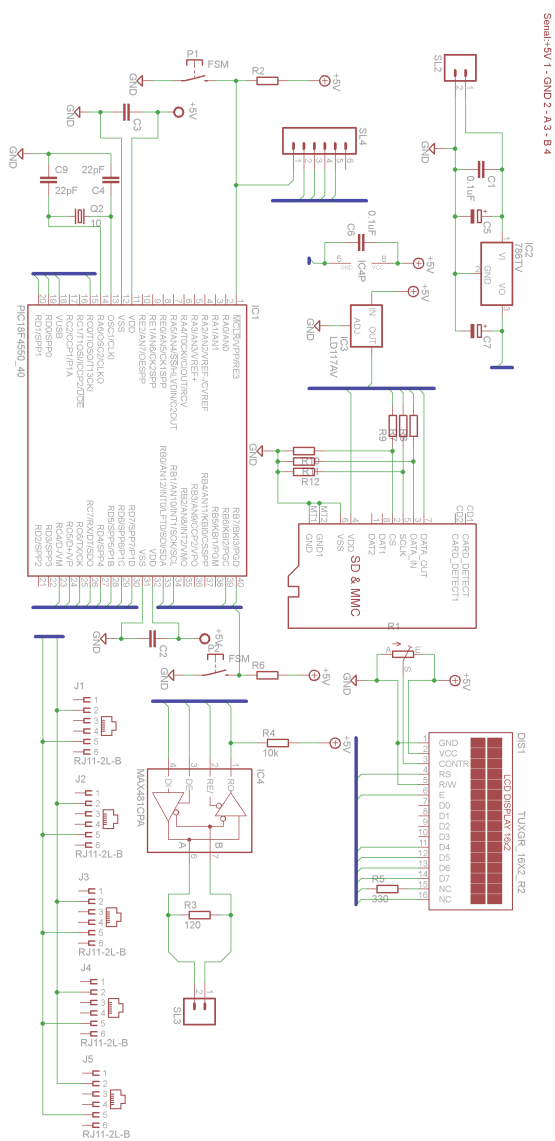


B.2. Diseño del PCB para la tarjeta esclavo

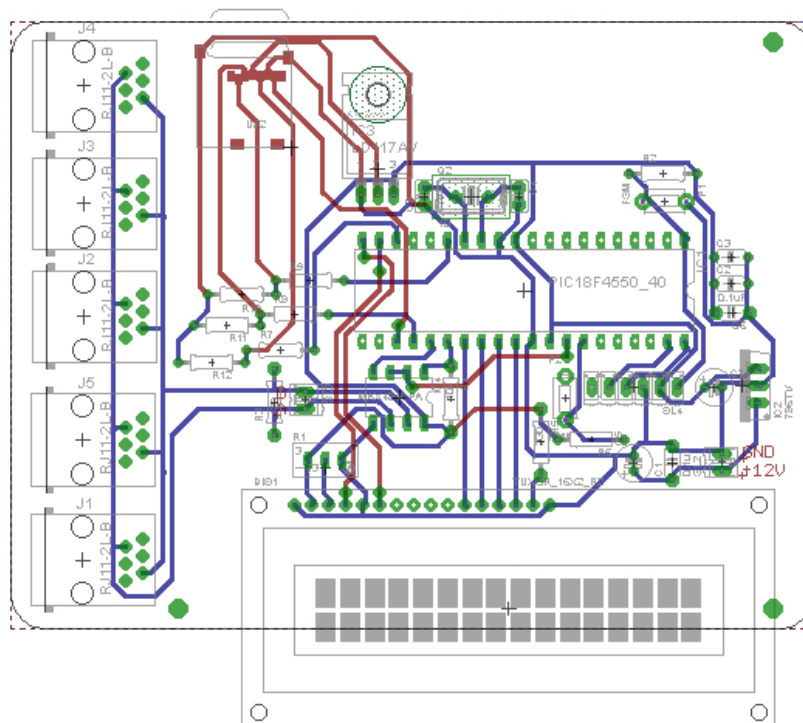


UNIVERSIDAD DE CUENCA
desde 1867

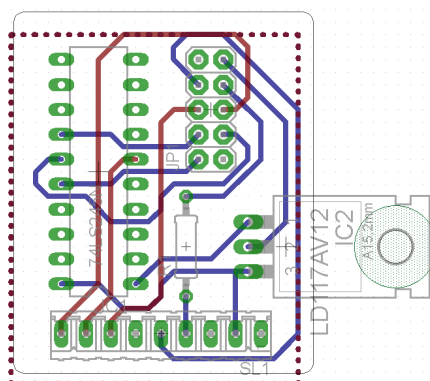
B.3. Diseño esquemático para la tarjeta maestro



B.4. Diseño del PCB para la tarjeta maestro



B.5. Diseño del PCB para el adaptador de la tarjeta Ethernet





UNIVERSIDAD DE CUENCA
desde 1867



Bibliografía

- [1] W. A. Helfrick, *Instrumentación Electrónica Moderna*, 1ra ed. Prentice Hall, 1991.
- [2] W. N. S. Tocci Ronald J., *Sistemas digitales : Principios y aplicaciones*, 1ra ed. Pearson Educacion, 2003.
- [3] Arduino, “Arduino MEGA 2560,” 2015. [En línea]. Disponible: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>
- [4] AVR, “Atmel ATmega640/V-1280/V-1281/V-2560/V-2561/V,” 2016. [En línea]. Disponible: <http://www.atmel.com/images/>
- [5] Raspberry Pi Foundation, “Raspberry Pi Hardware,” 2013. [En línea]. Disponible: <https://cslibrary.stanford.edu/101/>
- [6] B. W. Evans, “Arduino Programming Notebook,” 2007.
- [7] M. M. Technologies, “Datasheet MCP3550,” 2000.
- [8] P. X. Altadill, “IPTABLES Manual práctico,” 2003. [En línea]. Disponible: <http://www.pello.info/filez/firewall/iptables.html>
- [9] OET, *Manual de Procedimientos para las Estaciones Meteorológicas*, 2008.
- [10] SIAP+MICROS, “Metereología e Hidrología,” 2005. [En línea]. Disponible: <http://www.siapmicros.com/es/prodotti/meteorologia-y-hidrologia/>
- [11] KNMI, *Manual para la Observación Meteorológica*, 2000.
- [12] JW. y H. A. Copper, *Instrumentación Electrónica Moderna y Técnicas de Medición*, 1ra ed. Pearson Educación, 1991.



- [13] Campbell Scientific, “Campbell Scientific,” 2016.05.10. [En línea]. Disponible: <https://www.campbellsci.es/>
- [14] J. P. Martines, “Rendición de cuentas 2014,” SENAGUA, Tech. Rep., 2014.
- [15] H. Haro, “Diseño y construcción de un sistema de adquisición de datos de propósito general en base a una microcomputadora,” 2002.
- [16] M. Pérez, *Instrumentación Electrónica*, 1ra ed. Thomson, 2004.
- [17] G. Systems, *Data Acquisition and Networking*, 1ra ed. Aldermaston, 2000.
- [18] R. A. Iannucci, *Toward a dataflow von Neumann hybrid architecture*, 1ra ed. ACM SIGARCH, 1989.
- [19] Linda Nulll, *The Essentials of Computer Organization and Architecture*, 2da ed. Aldermaston, 2003.
- [20] P. Aguayo, “Introducción al microcontrolador,” 2000. [En línea]. Disponible: <http://files.itm201512.webnode.es/200000038-6e59e6f573/>
- [21] MicroChip, “PIC16F882/883/884/886/887,” 2002. [En línea]. Disponible: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/>
- [22] —, “Datasheet pic18f2525/2620/4525/4620,” 2006.
- [23] P. Kevin, “Ultimate guide to raspberry pi,” Denis Publishing Ltd., Tech. Rep., 2014.
- [24] Raspberry Pi Foundation, “Welcome to Raspbian,” 2013. [En línea]. Disponible: <https://www.raspbian.org/>
- [25] —, “Raspi-config,” 2015.09.21. [En línea]. Disponible: www.raspberrypi.org/documentation/configuration/raspi-config.md
- [26] P. S. Foundation, “Python,” 2010. [En línea]. Disponible: <https://www.python.org/psf/>
- [27] M. I. Products, “DS1307, 64 x 8, Serial, I2C Real-Time Clock,” 2015.
- [28] T. F. Herbert, “The Linux TCP/IP Stack: Networking for Embedded Systems,” 2004. [En línea]. Disponible: <http://www.pello.info/filez/firewall/iptables.html>



- [29] ASABE, *Prácticas para medida y reporte de estaciones automáticas agrícolas de meteorología*, 1ra ed. EP505, 2014.
- [30] D.-R. UK, “DHT11 Humidity y Temperature Sensor,” 2008. [En línea]. Disponible: <http://www.micropik.com/PDF/dht11.pdf>
- [31] D. Neuhauser, “Proposed Quanterra Datalog File Format,” 1995.
- [32] Raspberry Pi Foundation, “Quick Start Guide The Raspberry Pi – Single Board Computer,” 2013.
- [33] —, “Introducing the Pi Store,” 2015.12.17. [En línea]. Disponible: <https://www.raspberrypi.org/blog/introducing-the-pi-store/>
- [34] N. Sagap, *Preparación y Evaluación de Proyectos*, 1ra ed. Editorial Mc Graw Hill, 1989.
- [35] G. R. Heerkens, *Project Management*, 1ra ed. Editorial Mc Graw Hill, 2002.
- [36] P. G. D. H. Fabian Kaup, “PowerPi: Measuring and Modeling the Power Consumption of the Raspberry Pi,” 2013.