

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA,  
INFORMÁTICA Y MECÁNICA

“ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA”



**TESIS:**

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN Y SUPERVISIÓN REMOTA USANDO LA PLATAFORMA RASPBERRY PI PARA EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN DE EFECTIVIDAD DE LA LUZ AZUL EN EL TRATAMIENTO DE LA ICTERICIA NEONATAL”**

Presentado por:

**Br. FRANKLIN BUSTINZA MACEDO**

Para optar al título profesional de:

**INGENIERO ELECTRÓNICO**

Asesor:

**Ing. LUIS JIMENEZ TRONCOSO.**

**CUSCO - PERU**

**2018**

## **PRESENTACIÓN**

Los problemas que aquejan en el campo de la medicina son múltiples, tal es el caso de la monitorización de pacientes que por motivos logísticos es difícil acudir inmediatamente para hacer el monitoreo y más aún si es en zonas remotas. Este problema requiere una solución que permita hacer una monitorización segura y confiable ya sea en pacientes o temas de investigación como es el caso de la investigación de la efectividad de la luz azul en el tratamiento de la ictericia neonatal que la Universidad San Antonio Abad del Cusco mediante el instituto de investigación han emprendido con el tema de fototerapia de ictericia neonatal.

Se presenta la tesis “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN Y SUPERVISIÓN REMOTA USANDO LA PLATAFORMA RASPBERRY PI PARA EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN DE EFECTIVIDAD DE LA LUZ AZUL EN EL TRATAMIENTO DE LA ICTERICIA NEONATAL” el cual plantea soluciones a las necesidades que presentan los emprendimientos descritos en el párrafo anterior y que se desarrollan con mayor detalle en los siguientes capítulos.

## DEDICATORIA

A mis padres Esteban e Irma, por su inalcanzable amor por sus hijos, por ser el centro de mi inspiración, por su paciencia y comprensión en mis aciertos y desaciertos, por mostrarme el mundo con su realidad plena, por ser parte de la lucha y la carrera que me propuse superar, por ver cada día en mí una nueva esperanza.

A mis hermanos Marleny, Domingo, Nepsi, Nataly y Heydy, por estar siempre a mi lado y sentirme fortalecido en cada nuevo reto planteado, por sus palabras que me levantaron cada vez que sentí las esperanzas caídas.

A mis familiares por estar pendiente de mi camino por lograr mis objetivos profesionales y formar parte de esta carrera.

A mis amigos por formar parte de esta etapa, por las aventuras soñadas y realizadas, por los sueños y aventuras que aún nos quedan por cumplir.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por su amor infinito,

A mis padres por guiarme y sostener mi camino,

A mis hermanos por su apoyo incondicional,

A mi familia por los ejemplos mostrados,

A mis amigos y compañeros de clases por haber formado parte de esta etapa llena de adversidades y alegrías.

A mi asesor Ing. Luis Jiménez Troncoso por su ejemplo como profesional, su constante esfuerzo en el campo de la investigación científica y por su apoyo para cumplir con los objetivos de este proyecto.

## INTRODUCCIÓN

Los sistemas de comunicación han experimentado en el pasar de los años cambios sustanciales los cuales han permitido desarrollar e integrar diferentes ramas de la ciencia y quehaceres cotidianos del ser humano agilizando los procesos de comunicación y transferencia de datos sustanciales para el cumplimiento de los objetivos o la satisfacción de las necesidades.

Un sistema de comunicación y monitoreo permitirá el intercambio de información en el caso específico de la presente tesis se aboca en el intercambio de información de datos de parámetros físicos tales como la temperatura, corriente y voltaje.

Es así que en la tesis “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN Y SUPERVISIÓN REMOTA USANDO LA PLATAFORMA RASPBERRY PI PARA EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN DE EFECTIVIDAD DE LA LUZ AZUL EN EL TRATAMIENTO DE LA ICTERICIA NEONATAL” se plantea, diseña, implementa dicha solución para fines que la investigación en fototerapia lo demanda.

## RESUMEN

El objetivo de la presente tesis es la realizar el diseño e implementación de un sistema de comunicación y supervisión basado en la plataforma de hardware denominado Raspberry Pi, para un proyecto de investigación en fototerapia con luz azul el cual permita recolectar y visualizar los datos de temperatura, voltaje y corriente, y parámetros que para sus objetivos de investigación lo requieran. El prototipo de investigación en fototerapia a base de radiación de luz azul requiere de la supervisión y monitoreo de los parámetros que consideran como objetivo de investigación, vista esa necesidad se tiene que las condiciones de acceso al área de cuidados intermedios del hospital son limitadas y sumado al horario de disponibilidad de los investigadores hacen difícil una supervisión adecuada y oportuna.

El sistema de comunicación y supervisión diseñado e implementado conforma de tres partes fundamentales las cuales son: El sistema de comunicación, el sistema de adquisición y acondicionamiento de señal y el software de gestión y procesamiento de datos.

A la vez el sistema de comunicación está conformado por un sistema de radioenlaces que enlaza la plataforma Raspberry Pi ubicada en el Hospital regional a la red de la UNSAAC y un servidor de red privada virtual (VPN) que permite acceder a la red privada desde cualquier parte del mundo haciendo uso del internet.

El sistema de acondicionamiento y readquisición de datos está conformado por sensores de temperatura, voltaje y corriente, filtros, convertidor de señal analógica digital (ADC), un reloj en tiempo real, un módulo de visualización mediante display de siete segmentos y un módulo conmutador relé.

El software de gestión y procesamiento de datos está conformado por códigos programados en lenguajes como son Python, Html y SQL a la vez se configuró un servidor Web e instaló una base de datos, todos estos anteriores trabajando sobre la plataforma Raspberry Pi.

Los resultados de la implementación nos permiten visualizar los datos de temperatura, voltaje y corriente en tiempo real sobre una plataforma web, a la vez exportar y visualizar en una gráfica lineal los datos de los sensores acumulado un día completo.

## **ABSTRAC**

The objective of this thesis is to carry out the design and implementation of a communication and supervision system based on the hardware platform called Raspberry Pi, for a blue light phototherapy research project which allows to collect and visualize temperature data , voltage and current, and parameters that require it for your research objectives. The prototype of research in phototherapy based on blue light radiation requires the supervision and monitoring of the parameters that they consider as a research objective, given that need, the conditions of access to the hospital's intermediate care area are limited and added Due to the availability of researchers, adequate and timely supervision is difficult.

The communication and supervision system designed and implemented consists of three fundamental parts which are: The communication system, the signal acquisition and conditioning system and the data management and processing software.

At the same time, the communication system consists of a radio-link system that links the Raspberry Pi platform located in the Regional Hospital to the UNSAAC network and a virtual private network (VPN) server that allows access to the private network from any part of the world using the internet.

The data conditioning and reacquisition system consists of temperature, voltage and current sensors, filters, digital analog signal converter (ADC), a real-time clock, a seven segment display display module and a relay switch module .

The management and data processing software is made up of codes programmed in languages such as Python, Html and SQL, at the same time a Web server was configured and a database was installed, all of these previous ones working on the Raspberry Pi platform.

The results of the implementation allow us to visualize the temperature, voltage and current data in real time on a web platform, at the same time exporting and visualizing in a linear graph the data of the sensors accumulated a full day.

## ÍNDICE GENERAL

### CAPÍTULO I

<b>GENERALIDADES.....</b>	<b>1</b>
1.1 TITULO.....	1
1.2 RESPONSABLE.....	1
1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.3.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.3.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.4 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.5 VARIABLES ESPECÍFICAS DEL PROBLEMA.....	3
1.6 JUSTIFICACIÓN.....	4
1.7 ANTECEDENTES .....	4
1.8 OBJETIVOS.....	8
1.8.1 OBJETIVO GENERAL.....	8
1.8.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	8
1.9 ALCANCES.....	8
1.10 LIMITACIONES.....	9

### CAPITULO II

<b>MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>10</b>
2.1 SISTEMA ELECTRÓNICO DE COMUNICACIÓN.....	10
2.1.1 MODULACIÓN Y DEMODULACIÓN.....	10
2.1.2 RADIO DIGITAL.....	11
2.1.3 PROPAGACIÓN DE ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS.....	11
2.1.4 LA ZONA DE FREZNEL.....	13
2.1.5 EIRP O PIRE (POTENCIA ISOTRÓPICA RADIADA EFECTIVA).....	13
2.2 SISTEMA DE RADIOENLACE.....	14
2.2.1 VENTAJAS.....	14
2.2.2 DESVENTAJAS.....	14
2.2.3 MODOS DE APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE RADIOENLACE.....	14
2.3 BANDAS LIBRES .....	15
2.4 SISTEMA DE TELEMETRÍA.....	16
2.5 REDES DE DATOS.....	17
2.5.1 DIRECCIÓN IP (Internet protocol).....	17
2.5.2 Redes de área Local LAN (Local Area Network).....	18
2.5.3 Red de área Amplia WAN (Wide Area Network).....	18

2.5.4	Red Privada Virtual VPN (Virtual Private Network).....	18
2.6	SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.....	19
2.7	AMPLIFICADOR OPERACIONAL.....	19
2.7.1	AMPLIFICADOR NO INVERSOR.....	20
2.7.2	AMPLIFICADOR INVERSOR.....	22
2.8	RELÉ .....	23
2.9	RESISTENCIA.....	23
2.10	CONDENSADOR.....	23
2.11	TRANSISTOR.....	24
2.12	OPTOACOPLADOR.....	24
2.13	SENSORES Y TRANSDUCTORES.....	24
2.13.1	SENSOR DE EFECTO HALL.....	25
2.13.2	SENSOR DE TEMPERATURA.....	26
2.14	CONVERSOR ANALÓGICO/DIGITAL.....	27
2.14.1	MUESTREO Y RETENCIÓN (SAMPLING AND HOLD).....	27
2.14.2	CUANTIFICACIÓN.....	28
2.14.3	CODIFICACIÓN.....	28
2.14.4	RESOLUCIÓN DE CONVERTIDOR ANALÓGICO DIGITAL .....	29

2.14.5	CONVERSION ANALOGICO DIGITAL MCP3208.....	29
2.15	FILTRO DIGITAL FIR MEDIA MOVIL.....	30
2.16	RASPBERRY PI.....	32
2.16.1	PUERTO DE ENTRADA Y SALIDA DE PROPÓSITO GENERAL GPIO...	34
2.16.2	RASPBIAN.....	36
2.17	PUERTO SERIE SINCRONO (SSP).....	36
2.17.1	COMUNICACIÓN I2C.....	36
2.17.2	COMUNICACIÓN SPI.....	36
2.18	PYTHON.....	37
2.19	HTML.....	37
2.20	Lenguaje estructurado de consulta SQL (Structured Query Language)....	38
2.21	SOFTWARE.....	39
2.22	HARDWARE.....	39
 <b>CAPITULO III</b>		
<b>DISEÑO DEL SISTEMA.....</b>		
<b>DISEÑO DEL SISTEMA.....</b>		<b>40</b>
3.1	DISEÑO DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN.....	40
3.1.1	DISEÑO DEL SISTEMA DE RADIOENLACE.....	41
3.1.2	DISEÑO DEL SERVICIO VPN.....	49

3.2	DISEÑO DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DE DATOS.....	53
3.2.1	MÓDULO DE ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL ANALÓGICA.....	54
3.2.2	MODULO CONVERSIÓN ANALÓGICO DIGITAL.....	61
3.2.3	MÓDULO DE CONMUTACIÓN.....	63
3.2.4	MÓDULO DE RELOJ EN TIEMPO REAL (RTC).....	65
3.2.5	MODULO DE VISUALIZACIÓN.....	67
3.2.6	MÓDULO DE FUENTE DE ALIMENTACIÓN DEL SISTEMA.....	68
3.3	DISEÑO DEL SOFTWARE.....	76
3.3.1	DISEÑO DE LOS CÓDIGOS.....	76
3.3.2	DISEÑO DE FILTRO FIR MEDIA MOVIL.....	88
 <b>CAPITULO IV</b>		
	<b>IMPLEMENTACIÓN.....</b>	<b>90</b>
4.1	IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN.....	90
4.1.1	IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE RADIOENLACE.....	90
4.1.2	IMPLEMENTACIÓN DEL SERVICIO VPN.....	94
4.2	IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN.....	98
4.3	IMPLEMENTACIÓN DEL SOFTWARE.....	100

4.3.1 CONFIGURACIONES DE LA PLATAFORMA RASPBERRY PI.....	100
--	-----

## **CAPITULO V**

<b>RESULTADOS.....</b>	<b>109</b>
------------------------	------------

5.1 RESULTADOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE RADIOENLACES.....	109
--	-----

5.2 RESULTADOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA RED VPN.....	110
--	-----

5.3 RESULTADOS DE LA CONECTIVIDAD CON CADA ELEMENTO DE LA RED LOCAL.....	113
--	-----

5.4 RESULTADOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL FILTRO FIR MEDIA MOVIL.....	114
---	-----

5.5 RESULTADOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS CÓDIGOS.....	115
---	-----

5.6 RESULTADOS DE LA VALIDACIÓN DE LAS MEDICIONES.....	118
--	-----

<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>130</b>
--------------------------	------------

<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>132</b>
-----------------------------	------------

<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>134</b>
--------------------------	------------

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Diagrama de prototipo de investigación en fototerapia.....	6
Figura 1.2 Sistema de almacenamiento de datos con el prototipo de fototerapia.....	7
Figura 1.3 Sistema de comunicación, Laptop y modem 3G.....	7
Figura 2.1 Diagrama simplificado de un sistema de comunicación.....	10
Figura 2.2 Resumen de métodos de radioenlaces.....	15
Figura 2.3 Diagrama general de un sistema de telemetría.....	17
Figura 2.4 Amplificador operacional.....	20
Figura 2.5 Amplificador no inversor.....	21
Figura 2.6 Configuración de Amplificador Inversor.....	22
Figura 2.7 Diagrama de muestreo y retención.....	28
Figura 2.8 Estructura de Hardware de la plataforma Raspberry Pi V3.....	32
Figura 2.9 Distribución de pines del puerto GPIO del Raspberry Pi.....	35
Figura 3.1 Diagrama general de comunicación.....	40
Figura 3.2 Sistema de radioenlace punto a punto.....	41
Figura 3.3 Frecuencias usadas en el entorno de la universidad San Antonio Abad del Cusco.....	44

Figura 3.4 Análisis de espectro del entorno.....	45
Figura 3.5 Cuadro de configuración con parámetros de diseño.....	46
Figura 3.6 Simulación del enlace.....	47
Figura 3.7 Reporte del enlace mediante Radio Mobile.....	47
Figura 3.8 Patrón de radiación, elevación y azimut de la antena del punto de acceso UNSAAC (derecha) y de la estación HOSP_REGIONAL (izquierda)...	48
Figura 3.9 Diagrama general de servicio VPN. ....	49
Figura 3.10 Diagrama de diseño de servicio VPN.....	51
Figura 3.11 Diagrama general diseñado para el sistema de comunicación.....	52
Figura 3.12 Diagrama general de sistema de adquisición de datos.....	53
Figura 3.13 Sensor de Temperatura LM35.....	54
Figura 3.14 Acondicionamiento de señal de temperatura.....	56
Figura 3.15 Voltajes de alimentación comercial (Derecha) y solar (izquierda) medidos.....	57
Figura 3.16 Divisor de tensión.....	57
Figura 3.17 Acondicionamiento de señal de voltaje.....	58
Figura 3.18 Corriente medida de la fuente Comercial (derecha) y solar (Izquierda).....	59

Figura 3.19 Sensor de corriente ACS712.....	60
Figura 3.20 Conversor ADC MCP3208.....	63
Figura 3.21 Circuito de conmutación con relé y optoacoplador.....	64
Figura 3.22 Reloj de tiempo real DS1307.....	66
Figura 3.23 Circuito de módulo de visualización.....	67
Figura 3.24 Instrumentación de medición de consumo de potencia.....	69
Figura 3.25 Modulo de fuentes.....	69
Figura 3.26 Diagrama general del sistema de adquisición y acondicionamiento de datos.....	71
Figura 3.27 Diagrama del sistema de alimentación, conmutación y sensores...74	
Figura 3.28 Diagrama completo del sistema de comunicación supervisión.....	75
Figura 3.29 Diagrama de interacción de los códigos.....	79
Figura 3.30 Código 1.....	80
Figura 3.31 Código 2.....	81
Figura 3.32 Código 3.....	82
Figura 3.33 Código 4.....	83
Figura 3.34 Código 5.....	84
Figura 3.35 Código 6.....	84

Figura 3.36 Código 7.....	85
Figura 3.37 Código 8.....	86
Figura 3.38 Código 9.....	86
Figura 3.39 Código 10.....	87
Figura 3.40 Análisis del filtro FIR MEDIA MÓVIL.....	89
Figura 4.1 Implementación del Punto de Acceso UNSAAC.....	90
Figura 4.2 Configuración inalámbrica.....	92
Figura 4.3 Configuración de red.....	92
Figura 4.4 Implementación de Estación Base Hospital regional.....	93
Figura 4.5 Configuración de parámetros inalámbricos.....	94
Figura 4.6 Configuración de red.....	94
Figura 4.7 Configuración de interfaces.....	95
Figura 4.8 Configuración de segmentos de red para cada interface.....	95
Figura 4.9 NAT para el segmento 129.168.2.0/24.....	96
Figura 4.10 Configuración de ruta de salida a internet.....	96
Figura 4.11 Habilitación de servicio de tunneling para la red VPN.....	96
Figura 4.12 Configuración de perfil VPN y segmento de IP para usuario VPN....	97

Figura 4.13 Configuración de usuario, contraseña y dirección IP de usuario de VPN.....	97
Figura 4.14 Instalación del servidor VPN MIKROTIK RB750.....	97
Figura 4.15 Circuito de acondicionamiento de señal de temperatura, voltaje y conversor analógico digital.....	98
Figura 4.16 Circuito impreso del circuito de acondicionamiento y ADC.....	99
Figura 4.17 Diagrama de circuito y circuito impreso del reloj en tiempo real....	99
Figura 4.18 Sistema de adquisición de datos implementado.....	100
Figura 4.19 Aplicación para cargar el sistema operativo en memoria SD.....	101
Figura 4.20 Opciones de configuración de Raspberry Pi.....	102
Figura 4.21 Entorno de configuración del puerto Ethernet.....	104
Figura 4.22 Pruebas del sistema de adquisición de datos en laboratorio.....	107
Figura 4.23 Instalación del sistema de adquisición de datos en cuna de fototerapia en el hospital Regional.....	108
Figura 5.1 Resultado de configuración del Punto de acceso UNSAAC.....	109
Figura 5.2 Resultado de configuración de la estación del hospital regional....	110
Figura 5.3 Cuadro de opciones de conexión de nueva red.....	111
Figura 5.4 Opción de conexión mediante servicio VPN.....	111

Figura 5.5 Configuración de la dirección pública y nombre de la red VPN.....	111
Figura 5.6 Ingreso del usuario y contraseña del servicio VPN.....	112
Figura 5.7 Conexión exitosa a la red VPN_FOTOTERAPIA.....	112
Figura 5.8 Comprobación de asignación de dirección IP de la red VPN.....	112
Figura 5.9 Prueba de conexión al 192.168.2.61 (Punto de acceso UNSAAC)...	113
Figura 5.10 Prueba de conexión al 192.168.2.62 (Estación DIRESA).....	113
Figura 5.11 Prueba de conexión al 192.168.2.63 (Raspberry Pi).....	114
Figura 5.12 Resultado de aplicación del filtro Media Móvil, Señal sin filtro y señal filtrada.....	114
Figura 5.13 Página índice de ingreso de datos para consulta de tabla y exportación de datos.....	115
Figura 5.14 Página que muestra los datos consultados.....	116
Figura 5.15 Temperaturas en tiempo real.....	116
Figura 5.16 Consumo de energía en tiempo real.....	117
Figura 5.17 Gráfico del reporte de datos en archivo Excel.....	118
Figura 5.18 Gráfico mediciones de temperatura del panel superior de LEDs....	120
Figura 5.19 Gráfico mediciones de temperatura del panel inferior de LEDs.....	122
Figura 5.20 Gráfico mediciones de temperatura ambiente.....	124

Figura 5.21 Gráfico mediciones de voltaje de alimentación de paneles.....126

Figura 5.22 Gráfico mediciones de corriente de alimentación de paneles LED...128

## INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Ejemplo de equivalencia binaria de dirección IP.....	17
Tabla 2.2 Tipos implementación de filtro FIR.....	31
Tabla 3.1 Parámetros de diseño de sistema de radioenlace.....	48
Tabla 3.2 Materiales para implementar el sistema de radioenlace.....	49
Tabla 3.3 Segmentos de direcciones IP para el servicio VPN.....	50
Tabla 3.4 Materiales para la implementación del servicio VPN.....	51
Tabla 3.5 Materiales para el acondicionador de señal de temperatura.....	56
Tabla 3.6 Materiales para el acondicionamiento de señal de voltaje.....	59
Tabla 3.7 Materiales para el sensor de corriente.....	61
Tabla 3.8 Correspondencia de puertos SPI del GPIO.....	62
Tabla 3.9 Materiales para el conversor analógico digital.....	63
Tabla 3.10 Materiales del módulo relé.....	64
Tabla 3.11 Correspondencia de puerto I2C del GPIO con el RTC.....	66
Tabla 3.12 Materiales para el RTC.....	66
Tabla 3.13 Materiales del módulo de visualización.....	67
Tabla 3.14 Materiales para módulo de fuente de alimentación.....	69
Tabla 3.15 Materiales para implementación de códigos.....	87

Tabla 4.1	Parámetros de implementación punto de acceso UNSAAC.....	91
Tabla 4.2	Parámetros de implementación de la estación hospital regional.....	93
Tabla 5.1	Muestras de temperatura de panel superior de LEDs.....	120
Tabla 5.2	Cálculos para la desviación estándar.....	121
Tabla 5.3	Muestras de temperatura de panel inferior de LEDs.....	121
Tabla 5.4	Cálculos para la desviación estándar.....	123
Tabla 5.5	Muestras de temperatura ambiente.....	123
Tabla 5.6	Cálculos para la desviación estándar.....	124
Tabla 5.7	Muestras de voltaje de alimentación de paneles.....	125
Tabla 5.8	Cálculos para la desviación estándar.....	127
Tabla 5.9	Muestras de corriente de la alimentación de paneles de LED.....	128
Tabla 5.10	Cálculos para la desviación estándar.....	129

## INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1	
PRESUPUESTO.....	136
ANEXO 2	
CRONOGRAMA DE IMPLEMENTACIÓN.....	137
ANEXO 3	
CÓDIGO PARA ANÁLISIS DE FILTRO.....	138
ANEXO 4	
CÓDIGO 1.....	139
ANEXO 5	
CÓDIGO 2.....	142
ANEXO 6	
CÓDIGO 3.....	145
ANEXO 7	
CÓDIGO 4.....	146
ANEXO 8	
CÓDIGO 5.....	147
ANEXO 9	
CÓDIGO 6.....	149

ANEXO 10	
CÓDIGO 7.....	150
ANEXO 11	
CÓDIGO 8.....	151
ANEXO 12	
CÓDIGO 9.....	154
ANEXO 13	
CÓDIGO 10.....	156
ANEXO 14	
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	158

# **CAPÍTULO I**

## **GENERALIDADES**

### **1.1 TITULO**

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN Y SUPERVISIÓN REMOTA USANDO LA PLATAFORMA RASPBERRY PI PARA EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN DE EFECTIVIDAD DE LA LUZ AZUL EN EL TRATAMIENTO DE LA ICTERICIA NEONATAL”

### **1.2 RESPONSABLE**

Br. Franklin Bustinza Macedo

### **1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

#### **1.3.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Los problemas que aquejan en el campo de la medicina son múltiples, tal es el caso de la monitorización de pacientes que por motivos logísticos es difícil acudir inmediatamente para hacer el monitoreo y más aún si es en zonas remotas. Este problema requiere una solución que permita hacer una monitorización segura y confiable ya sea en pacientes o temas de investigación como es el caso de la investigación de la efectividad de la luz azul en el tratamiento de la ictericia neonatal que la Universidad San Antonio Abad del Cusco mediante el instituto de investigación han emprendido con el tema de fototerapia de ictericia neonatal.

La ictericia neonatal es la afección más frecuente del área de Neonatología. La fototerapia con LED como tratamiento a este problema ha generado muchas ventajas en cuanto a la efectividad, tiempo, temperatura y otros factores que son objetos de investigación. Para cumplir con los objetivos de la investigación es necesaria la monitorización del prototipo dentro de una clínica u Hospital, luego el control de los parámetros como la temperatura y demás factores que la investigación incluye.

Por otra parte, en el proyecto de investigación interviene otro sistema alternativo de alimentación (sistema fotovoltaico), el cual necesita ser monitorizado y almacenar los datos adquiridos para su posterior análisis y comparación de dichos parámetros.

La monitorización o supervisión de un prototipo de investigación dentro de la clínica u hospital tiene ciertas restricciones por el tema de seguridad y otros que comprometen a un desarrollo normal de sus actividades por lo que es necesario implementar una monitorización y control de modo remoto.

### **1.3.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

Como ya se mencionó a pesar de las ventajas del método de fototerapia, se desea saber:

¿Cómo comunicar y supervisar de manera remota el prototipo de la investigación de efectividad de la luz azul en el tratamiento de la ictericia neonatal?

#### **1.4 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

Dentro de los diferentes procesos que involucra un tema de investigación se encuentran muchas dificultades para culminar con éxito un objetivo específico y una de esas dificultades halladas en el proceso de recopilación de datos de temperatura, voltaje y corriente, es la de *dar un seguimiento continuo de los parámetros de temperatura de los paneles de LED, voltaje y corriente de alimentación de los paneles de LED del prototipo de investigación de efectividad de la luz azul en el tratamiento de ictericia neonatal* por lo que surge la necesidad de formular una solución para cubrir esta necesidad.

#### **1.5 VARIABLES ESPECÍFICAS DEL PROBLEMA**

Dentro de las variables que intervienen en el problema general, que es la de dar un seguimiento continuo, existen las siguientes:

- La accesibilidad a los ambientes del área de neonatología debido a políticas de seguridad interna del área antes mencionada.
- Los horarios independientes de cada uno de los integrantes del grupo de investigadores que crean incompatibilidad con sus actividades laborales.
- El tiempo que requiere ir hasta el establecimiento de salud donde se encuentra el prototipo.

## **1.6 JUSTIFICACIÓN**

La investigación científica a lo largo de los tiempos del desarrollo de la humanidad ha generado grandes conocimientos los cuales fueron y son utilizados para los fines de satisfacción de las diferentes necesidades del ser humano.

Con este fin se vienen desarrollando investigaciones día a día y tal es el caso de la investigación de fototerapia con luz azul para el tratamiento de la ictericia neonatal que viene emprendiendo la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco cuyos conocimientos generados nos permitirá crear métodos seguros y certificados de tratamientos de dicha afección en los neonatos.

Así cómo existe la necesidad de generar conocimientos también existe la necesidad de diseñar herramientas para coadyuvar estos objetivos por lo que en el tema específico un sistema de comunicación de monitorización y supervisión remoto es una herramienta que permitirá monitorizar los parámetros que como datos científicos de muestreo genera la investigación.

## **1.7 ANTECEDENTES**

*El proyecto de investigación de efectividad de la luz azul en el tratamiento de fototerapia neonatal* tiene como objetivo el estudio de la efectividad de la aplicación de la luz azul en el tratamiento de pacientes neonatos con afecciones de ictericia neonatal para tal fin el grupo de investigación implementa un prototipo como se muestra en la figura 1.1. El prototipo comprende, en principio de una cuna donde se instalaron matrices de LED, una instalada en la parte superior de la cuna y otra en

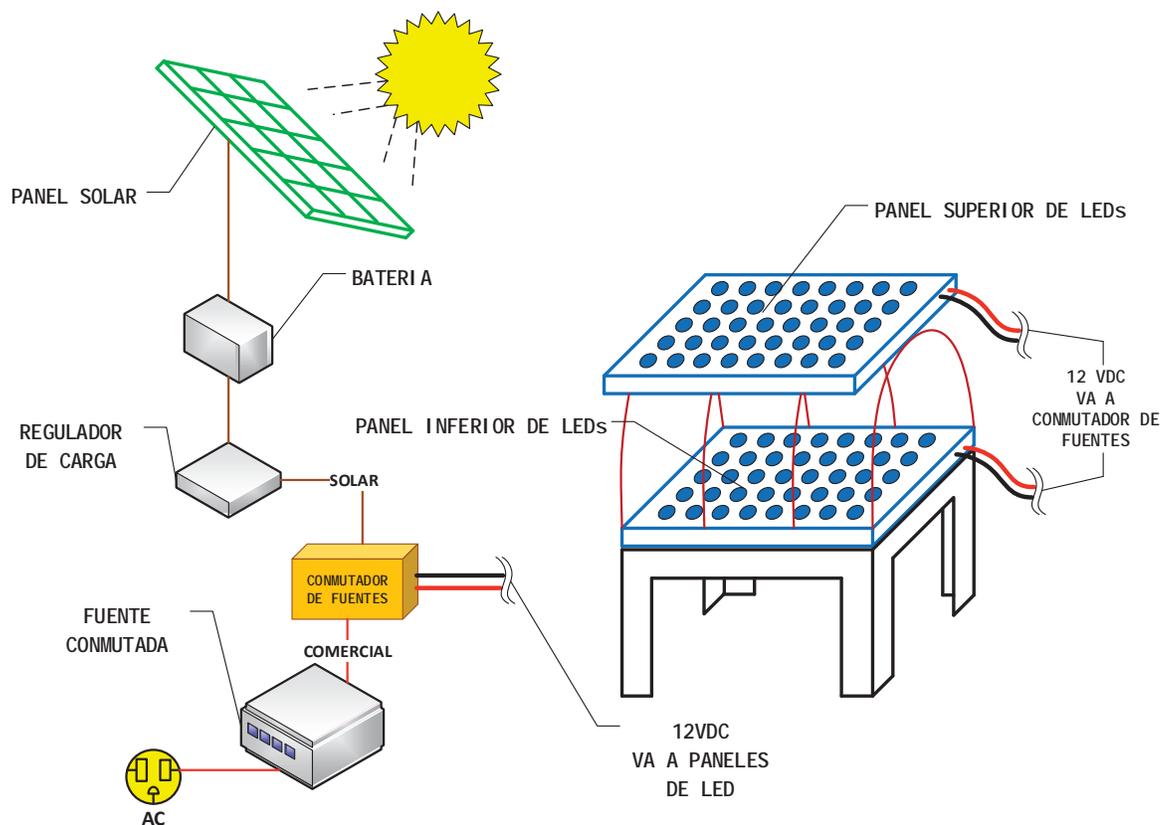
la parte inferior ambas conectadas a una salida de un circuito de conmutación, la misma que conmuta dos diferentes tipos de fuente DC, una fuente de energía solar y otra fuente suministrada con energía comercial de 220 AC.

Dentro de los objetivos de investigación este prototipo de fototerapia de luz azul, descrito en el párrafo anterior, se tiene el estudio del rendimiento, eficiencia y tiempo y de vida de los LEDs utilizados para la emisión de luz azul en comparación a la temperatura y los valores de voltaje y corriente consumidos.

Para tal fin se presenta la necesidad de conocer la temperatura de la matriz de LED superior y el de la matriz de LED inferior, a su vez se desea conocer el valor del consumo de voltaje y corriente de las mismas matrices de LED.

Por tanto se tendrán como datos necesarios a adquirir serán los siguientes:

- 1.- Temperatura del panel o matriz superior de LED.
- 2.- Temperatura del panel o matriz inferior de LED.
- 3.- Temperatura ambiente.
- 3.- Voltaje de alimentación de las matrices de LED.
- 4.- Corriente de alimentación de las matrices de LED.



*Figura 1.1 Diagrama de prototipo de investigación en fototerapia*

El equipo del proyecto de investigación de fototerapia neonatal, en su afán de cubrir la necesidad de adquirir, comunicar y almacenar los datos descritos anteriormente, ha desarrollado diferentes métodos o herramientas dentro de las cuales desarrollaron un sistema de almacenamiento y visualización de los datos adquiridos basados en un microcontrolador Propeller, en la figura 1.2 se muestra el sistema debajo de la cuna.

En la figura 1.3 se muestra el sistema de comunicación conformada por una computadora portátil y un modem de internet móvil 3G. La computadora almacena los datos adquiridos con el sistema de adquisición de datos y los datos podían ser

visualizados remotamente al entrar a la computadora personal mediante un software de administración remota denominado TeamViewer.



*Figura 1.2 Sistema de almacenamiento de datos con el prototipo de fototerapia*



*Figura 1.3 Sistema de comunicación, Laptop y modem 3G*

## **1.8 OBJETIVOS**

### **1.8.1 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar e implementar un sistema de comunicación basada en sistemas de radioenlaces microondas, red privada virtual o VPN y la plataforma Raspberry pi para la supervisión remota de los parámetros y dispositivos del proyecto de investigación de fototerapia de ictericia neonatal de la UNSAAC.

### **1.8.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Diseñar e implementar el sistema de comunicación.
- Diseñar e implementar un sistema de adquisición de datos.
- Diseñar e implementar el software para la plataforma que acondiciona los datos para ser transmitidos.

## **1.9 ALCANCES**

El proyecto de tesis tiene por fin el diseño y la implementación de un sistema de comunicación que permita supervisar y monitorear los datos adquiridos del prototipo de investigación de fototerapia de ictericia neonatal desde Hospital Antonio Lorena o en el Hospital regional del Cusco hacia el centro de investigación IIUR de la Universidad San Antonio Abad del Cusco los cuales posteriormente serán analizados por los responsables de dicha investigación.

## **1.10 LIMITACIONES**

El presente proyecto de tesis se limita a implementar el sistema de comunicación a partir de la recepción de datos en el sistema de readquisición de datos para luego ser transmitidos por un sistema de comunicación hacia el centro de investigación IIUR de la UNSAAC.

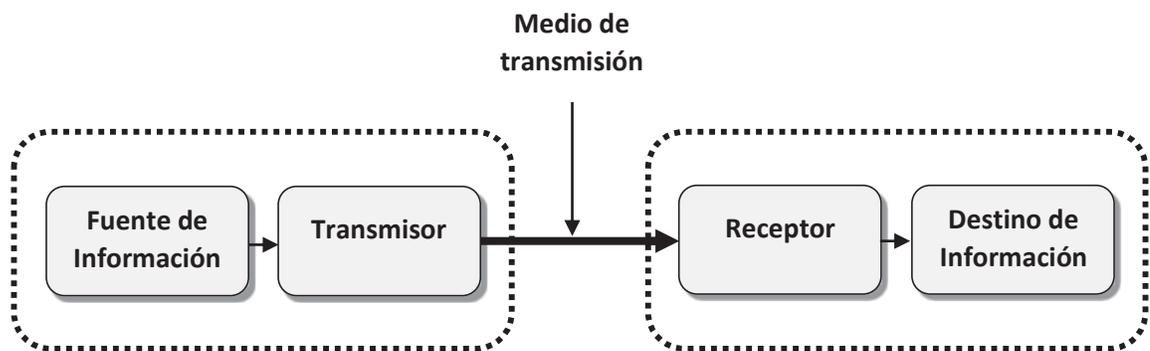
## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 SISTEMA ELECTRÓNICO DE COMUNICACIÓN

Un sistema electrónico de comunicación tiene como principal objetivo de intercambio de información emitida desde un punto y recibida en otro, por tanto se define como un sistema electrónico de comunicación como un sistema que permite la transmisión y recepción de información entre dos o más puntos, por medio de circuitos electrónicos<sup>1</sup>.

En la figura 2.1 se muestra el diagrama de un sistema electrónico de comunicación.



*Figura 2.1 Diagrama simplificado de un sistema de comunicación<sup>1</sup>*

#### 2.1.1 MODULACIÓN Y DEMODULACIÓN

Para un eficiente transporte de la información, mediante la propagación electromagnética por cualquier medio de transmisión, se hace necesaria la modulación de la señal de información fuente con otra señal análoga que tenga mayor frecuencia, a la cual se denomina portadora. La señal portadora es un medio

---

<sup>1</sup> *Sistemas de comunicaciones electrónicas*, Tomasi Wayne. PEARSON EDUCACIÓN. 4ta Edición 2003

de transporte electromagnético la cual se propaga a través de un medio físico. La señal de información es quien modula a la señal portadora variando así su amplitud, frecuencia o su fase. El proceso de demodulación es el proceso inverso a la modulación en la que la señal portadora modulada se separa de la información fuente<sup>1</sup>.

### **2.1.2 RADIO DIGITAL<sup>1</sup>**

Un sistema de radio digital consiste en la transmisión de señales portadoras análogas mediante modulación digital. En el sistema de radio digital tanto la señal modulada como la moduladora son señales de pulso digital. Las señales de pulso digital son originadas desde una fuente digital como lo es una computadora o cualquier sistema electrónico que produce la codificación binaria de una señal análoga. Los medios de transmisión para un sistema de radio digital pueden ser medios físicos, así como el espacio libre.

### **2.1.3 PROPAGACIÓN DE ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS**

#### **2.1.3.1 ONDA ELECTROMANÉTICA**

La onda como naturaleza propia es una perturbación que se propaga por medios físicos o en el espacio libre, en el caso particular la perturbación de campos eléctricos y magnéticos que se inducen en campos adyacentes en el espacio son considerados como perturbación electromagnética y por tanto como onda

electromagnética con la capacidad de propagarse en el espacio y medios físicos de uno a otro punto<sup>2</sup>.

### **2.1.3.2 LONGITUD DE ONDA**

La longitud de onda es la distancia que hay entre valle o cresta de la onda.

### **2.1.3.3 FRECUENCIA**

La frecuencia es el número de periodos por segundo en una onda que realiza la propagación.

### **2.1.3.4 ANTENA**

La antena es un sistema de conductores diseñados para radiar o recibir ondas electromagnéticas. La antena es un dispositivo que convierte ondas eléctricas guiadas para ser liberadas al espacio libre como ondas electromagnéticas<sup>3</sup>.

- **DECIBELIOS (dB)**

El decibelio permite expresar la relación entre dos magnitudes de campo, como una tensión, una corriente, una presión acústica, un campo eléctrico, una velocidad o una densidad de carga, cuyo cuadrado es proporcional a una potencia en los sistemas lineales.

---

<sup>2</sup> Física universitaria Vol. 2 11va edición, HUGH D. YOUNG, ROGER A. FREEDMAN, Editorial PEARSON

<sup>3</sup> Radio Handbook, 21va edición, William I. Orr, Howard W. Sams & Co.

- **GANANCIA DE LA ANTENA (dBi)**

La ganancia de una antena esta expresado en dBi. El dBi es la unidad para medir la ganancia de una antena en referencia a una antena isitrópica ideal.

- **DIRECTIVIDAD DE LA ANTENA**

La directividad de una antena mide la densidad de potencia que una antena irradia en cierta dirección. Cuanto mayor es la directividad mayor es la ganancia y filtra el ruido, los cuales son muy importantes<sup>4</sup>.

#### **2.1.4 LA ZONA DE FREZNEL**

La zona de Freznel en el campo de las comunicaciones juega un papel muy importante debido a que esta zona es una zona crítica para la transmisión inalámbrica en la cual la primera zona debe estar libre de interferencias para una transmisión sin pérdida de señal.

#### **2.1.5 EIRP O PIRE (POTENCIA ISOTRÓPICA RADIADA EFECTIVA)**

La PIRE es la potencia que es radiada de manera uniforme en todas las direcciones en una forma esférica, basado en el tipo de radiación que se le atribuye a una antena teórica denominada antena isotrópica. El cálculo de la PIRE se realiza según la siguiente formula:

$$PIRE = Potencia\ de\ transmisión\ (dBm) - Atenuación(dB) + Ganancia\ de\ antena(dBi)$$

---

<sup>4</sup> airMAX CCERTIFIED, Ubiquiti Academy UAC v1.0

## **2.2 SISTEMA DE RADIOENLACE**

Son sistemas de radiocomunicaciones entre puntos que proporcionan una capacidad de transmisión de información con calidad y disponibilidad dadas; pueden ser fijos móviles, terrestres o satelitales.

### **2.2.1 VENTAJAS**

- Inversión reducida
- Sin línea de transmisión física
- Instalación rápida y sencilla
- Se superan bien las irregularidades del terreno.

### **2.2.2 DESVENTAJAS**

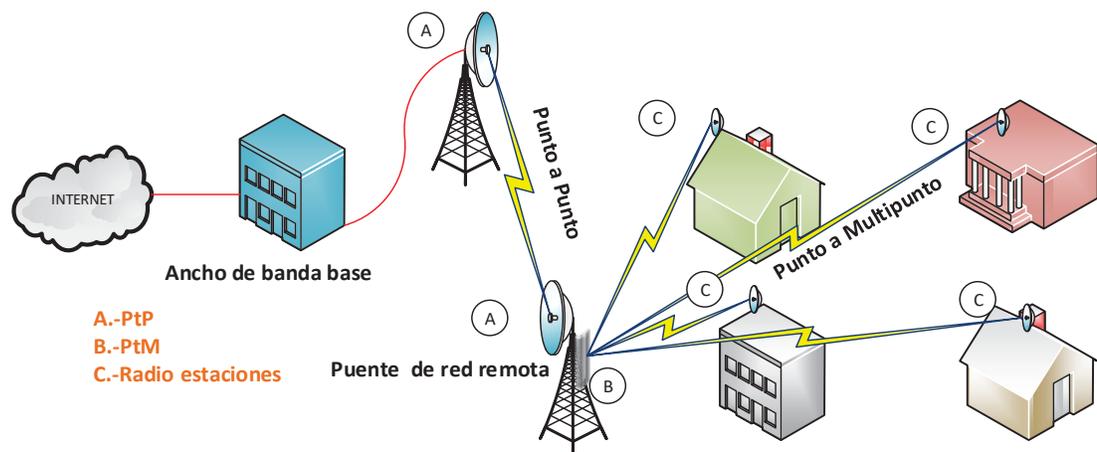
- Necesidad de visibilidad directa.
- Acceso adecuado al repetidor energía.
- Alto costo de mantenimiento.
- Se afectan por fenómenos atmosféricos.

### **2.2.3 MODOS DE APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE RADIOENLACE**

Entre los modos de aplicación de la tecnología de radioenlace se tienen tres modos principales:

- Enlace punto a Punto
- Enlace Punto a Multipunto
- Enlace Punto a punto con puente intermedio

En la figura 2.2 resume los tres métodos de enlace. En este caso, la conexión de banda ancha básica se coloca en un DATA CENTER(A). De ahí un enlace punto a punto (PtP) es establecido hacia la torre transportada a una estación base remota (B). De allí la conexión de banda ancha es distribuido a un radio station a múltiples puntos (C) a través de una configuración punto a Multipunto (PtMP).



*Figura 2.2 Resumen de métodos de radioenlaces*

### 2.3 BANDAS LIBRES

Las bandas de frecuencia libre nos permiten transmitir, sin muchas restricciones y de manera gratuita, en el espacio libre que el ente encargado de cada país se encarga de delimitar.

El ministerio de transportes y comunicaciones mediante el decreto supremo N° 006-2013-MTC modifican el artículo 22 del decreto supremo N° 024-2008-MTC que aprobó el Marco Normativo General para la promoción del desarrollo de los servicios públicos de telecomunicaciones de áreas rurales y lugares de preferente interés social en los siguientes términos:

“(…)

## **Artículo 22.- Identificación de bandas libres**

*22.1 Para la prestación de servicios públicos de telecomunicaciones en áreas rurales y/o lugares de preferente interés social, no se requerirá contar con asignación de espectro, permiso de instalación ni licencia de operación, en las siguientes bandas de frecuencias:*

- i. 915-928 MHz cuya PIRE máxima utilizada no deberá exceder de 30 dBm(1W).*
- ii. 916-928 MHz, 2400-2483,5 MHz y 5725-5850 MHz, siempre y cuando la potencia máxima de salida de un transmisor no exceda de 30 dBm.*
- iii. 5250-5350 MHz y 5470-5725 MHz, siempre y cuando la potencia máxima de salida de un transmisor no exceda de 24 dBm.*

(…)”<sup>5</sup>

## **2.4 SISTEMA DE TELEMETRÍA<sup>6</sup>**

El propósito de un sistema de telemetría es la adquisición de datos de un lugar remoto o inaccesible y luego transmitir los datos a un punto donde los datos puedan ser evaluados.

---

<sup>5</sup> DECRETO SUPREMO N° 006-2013-MTC

<sup>6</sup> *Telemetry Systems Engineering*, Frank Carden, Russell P. Jedlicka, Robert Henry. ATECH HOUSE

Un diagrama general de bloques de un sistema de telemetría se muestra en la figura 2.3.

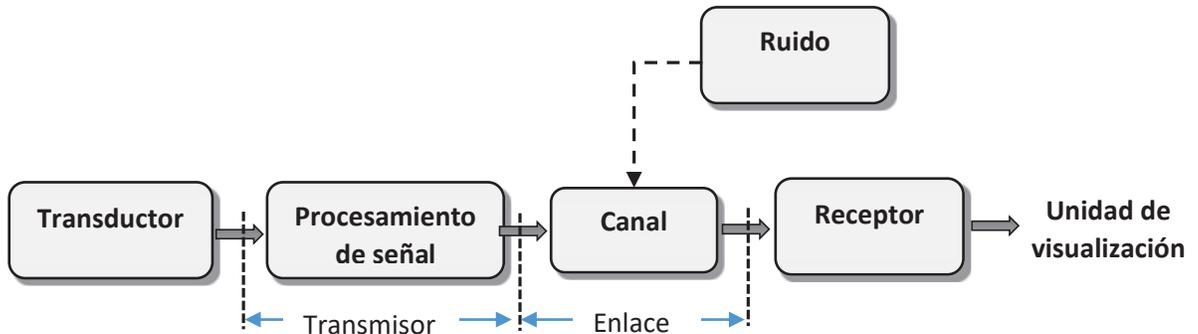


Figura 2.3 Diagrama general de un sistema de telemetría<sup>7</sup>

## 2.5 REDES DE DATOS<sup>8</sup>

### 2.5.1 DIRECCIÓN IP (Internet protocol)

Es una dirección binaria de 32 bits usada en protocolos de internet para identificar a un host o computadora dentro de una red específica. Esta dirección IP permitirá dar ruta, principio y fin de intercambio de paquetes de datos.

Ejemplo: Para la dirección IP **10.34.23.134** el equivalente binario sería el siguiente:

Tabla 2.1 Ejemplo de equivalencia binaria de dirección IP.

<b>10</b>	<b>34</b>	<b>23</b>	<b>134</b>
<b>00001010</b>	<b>00100010</b>	<b>00010111</b>	<b>10000110</b>

<sup>7</sup> *Telemetry Principles*, D. Patranabis, Tata McGraw-Hill Education, 10ª Reimpresión en 2007.

<sup>8</sup> Academia de Networking de Cisco Systems, Guía del primer año CCNA 1 y 2, Tercera edición, Cisco Systems, Inc. Cisco Networking Academy Program

### **2.5.2 Redes de área Local LAN (Local Area Network)**

Una red LAN está conformada por dispositivos de red los cuales comparten dispositivos periféricos y paquetes de información de manera local, por tanto, las redes LAN están limitadas a operar sobre un área geográfica limitada y la conexión entre dispositivos de la red es directa, una tecnología común para la interconexión es Ethernet.

### **2.5.3 Red de área Amplia WAN (Wide Area Network)**

Las redes WAN componen una red de mayor área geográfica interconectando redes de áreas pequeñas como las redes LAN. Con este tipo de red es posible el intercambio de paquetes de datos de una red local a otra fuera de la red local, así mismo, mediante el uso de tecnologías de enrutamiento y servicios de redes virtuales, posibilita la conexión y compartir de elementos de red de una LAN con otra LAN.

### **2.5.4 Red Privada Virtual VPN (Virtual Private Network)**

Una red privada virtual está construida sobre una red pública o dicho de otra manera fuera de una red LAN, lo que permite actuar a los dispositivos de red en dos diferentes redes locales LAN como si estuvieran en una misma red local LAN, lo que permite compartir todos los recursos que trabajan en base a la red implementada en cada red.

Las redes privadas virtuales han sido clasificadas en tres tipos:

- **VPN de acceso:** Esta red permite el acceso de un usuario remoto, que se encuentra fuera de la red LAN, acceder a los recursos de una red LAN sin necesidad que de la red LAN se acceda a los recursos de red del usuario.
- **VPN intranet:** La red VPN intranet es una red aplicada para distintas redes LAN remotas de una misma empresa o grupo comercial que desean compartir sus recursos de red en ambos sentidos.
- **VPN extranet:** Una red VPN intranet permitirá el acceso a la red LAN desde otra red LAN de un socio comercial con privilegios diferentes a la de una red VPN intranet.

## **2.6 SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS**

El sistema de adquisición de datos incluye los dispositivos tales como termopares, acelerómetros, transductores, filtros, acondicionadores de señal, y las computadoras.

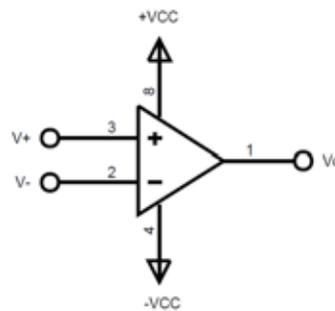
El propósito del sistema de adquisición de datos es obtener los datos del sistema de sensores, condicionar las señales, y hacerlos disponibles para el subsistema de multiplexación<sup>7</sup>.

## **2.7 AMPLIFICADOR OPERACIONAL**

El amplificador operacional es un dispositivo electrónico que admite entrada y salida cuya función es obtener una salida amplificada la señal de entrada, donde la constante de proporcionalidad producto de la amplificación se le denomina ganancia.

Existen diferentes aplicaciones y configuraciones con las que se puede realizar tratamiento de señales<sup>9</sup>.

En la Figura 2.4 muestra se muestra el símbolo de un Amplificador operacional, el cual consta de una entrada inversora (V-), una entrada no inversora (V+), salida (Vo) y la alimentación (+VCC y -VCC).



*Figura 2.4 Amplificador operacional.*

### **2.7.1 AMPLIFICADOR NO INVERSOR**

Una de las configuraciones básicas del amplificador operacional es el amplificador no inversor en el cual la señal  $V_i$  de entrada va conectada al terminal positivo o no inversor del amplificador, y la señal va retroalimentada con una resistencia  $R_2$  de la señal de salida  $V_o$  hacia la entrada inversora del amplificador operacional, como se muestra en la figura 2.5.

---

<sup>9</sup> Diseño con amplificadores operacionales y circuitos integrados analógicos, 3ra edición, Sergio Franco, Mc Graw Hill

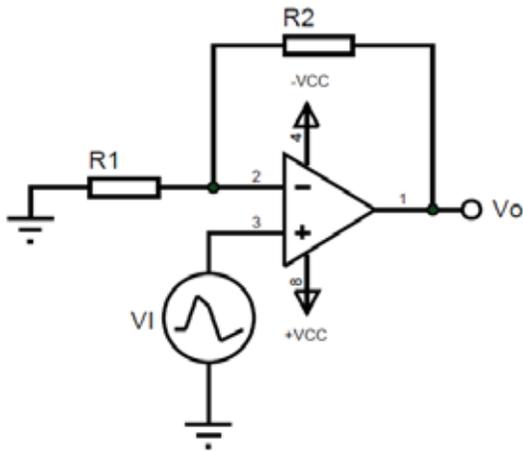


Figura 2.5 Amplificador no inversor

Considerando al amplificador como un amplificador ideal la señal voltaje en la entrada inversora sería igual a la entrada no inversora  $V_i$  con lo que tendríamos la siguiente ecuación:

$$\frac{V_i}{R1} = \frac{V_o - V_i}{R2}$$

Luego desarrollando tendríamos el voltaje de salida en función de  $V_i$  las resistencias  $R2$  y  $R1$ .

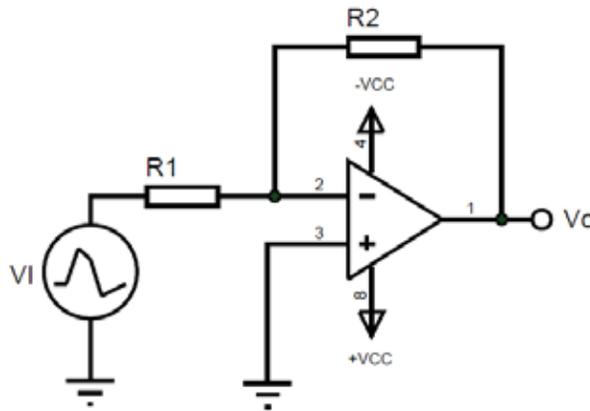
$$V_o = V_i \left( \frac{R1 + R2}{R1} \right)$$

La ganancia  $A$  de la configuración de este amplificador estará en función de  $R1$  y  $R2$ , de la siguiente forma:

$$A = \frac{V_o}{V_i} = \frac{R1 + R2}{R1}$$

## 2.7.2 AMPLIFICADOR INVERSOR

En el caso del amplificador inversor la señal de entrada  $V_i$  va conectado a la entrada inversora por medio de la resistencia  $R_1$ , retroalimentada mediante la resistencia  $R_2$  desde la salida  $V_o$  a la entrada inversora y la entrada no inversora va conectada a tierra.



*Figura 2.6 Configuración de Amplificador Inversor*

Debido a que el voltaje de la entrada no inversora es igual a 0, por tanto, el voltaje de la entrada inversora también igual a 0, y la corriente requerida por las entradas es despreciable tenemos la siguiente ecuación:

$$-\frac{V_i}{R_1} = \frac{V_o}{R_2}$$

Luego desarrollando tendríamos el voltaje de salida en función de  $V_i$  las resistencias  $R_2$  y  $R_1$ .

$$V_o = -V_i \left( \frac{R_2}{R_1} \right)$$

La ganancia A de la configuración de este amplificador estará en función de R1 y R2, de la siguiente forma:

$$A = \frac{V_o}{V_i} = \frac{-R_2}{R_1}$$

## **2.8 RELÉ**

El relé o relevador es un dispositivo electrónico de conmutación que en una configuración básica posee 3 terminales, un terminal que permanece cerrado y conectado a un terminal común al tercero que permanece abierto cuando en la bobina que contiene no circula corriente, al aplicarle una corriente a la bobina esta acciona un filamento interno que es atraído por la bobina que actúa como un imán y cambia del terminal normalmente cerrado al terminal normalmente abierto.

## **2.9 RESISTENCIA**

La resistencia es un elemento pasivo que permite el control o la limitación de paso de corriente eléctrica que circula en un circuito, mientras más alto el valor de la resistividad menor será la magnitud de paso de corriente. La magnitud física de la resistencia es el Ohmio ( $\Omega$ ).

## **2.10 CONDENSADOR**

Es un elemento electrónico pasivo formado por dos láminas o placas divididas por un material dieléctrico que permiten el almacenamiento de energía eléctrica, un capacitor almacena energía en un proceso de carga y sede la energía eléctrica en un proceso de descarga.

## **2.11 TRANSISTOR**

El transistor es un dispositivo electrónico semiconductor que compone de 3 partes las cuales son la base, el emisor y el colector en configuración de transistor bipolar. El transistor permite diferentes aplicaciones como la amplificación de corriente, dispositivo de conmutación, regulación. El transistor en configuración bipolar deja el paso de la corriente del Colector hacia el emisor al ser aplicado una corriente en la base del transistor dicha corriente Colector Emisor será proporcional a la corriente aplicada en la Base.

## **2.12 OPTOACOPLADOR**

Es un dispositivo de acople por medios ópticos de que tiene un fototransistor o fototriac que actúa como interruptor al recibir o dejar de recibir luz de un fotodiodo LED.

## **2.13 SENSORES Y TRANSDUCTORES**

Los *sensores* y *transductores* son dispositivos que convierten formas de energía en otra. A menudo se confunde la definición de sensores y transductores, pero la diferencia de estos se define en términos de aplicación y eficiencia, la conversión de los *sensores* de una energía en otra se realiza sin tomar en cuenta la eficiencia, en forma de energía eléctrica debido a que son aplicados para propósitos de medición. A diferencia de los *sensores* los *transductores* la conversión no se dan necesariamente en forma de energía eléctrica y requieren eficiencia en su

conversión porque son aplicados directamente en actuadores o en dispositivos de visualización.

### **2.13.1 SENSOR DE EFECTO HALL<sup>10</sup>**

Es un dispositivo de material semiconductor que al ser expuesto a un campo magnético genera un voltaje. Esto se debe a la denominada Fuerza de Lorentz el cual define que en un campo magnético los electrones se someten a una fuerza que es proporcional a su velocidad a través del campo y su intensidad.

#### **2.13.1.1 SENSOR DE CORRIENTE DE EFECTO HALL TS712**

El sensor de corriente de efecto Hall actúan bajo el principio anteriormente mencionado, por tanto, entre la gama de sensores de corriente, la mejor en cuanto a linealidad y sensibilidad a diferencia que con un sensor de corriente con resistencia Shunt genera caídas de tensión al variar su resistividad por factores de temperatura lo que no brinda una linealidad y la sensibilidad variará del valor del resistor shunt lo que no le permite admitir diferentes rangos de corriente.

En el caso particular se describirá el sensor de corriente de efecto Hall TS712 el cual contiene las siguientes características según su hoja de datos:

- Baja señal de ruido a la salida de la señal analógica.
- 80KHz de ancho de banda.
- Error total de salida 1.5% a temperatura ambiente 25°C

---

<sup>10</sup> Introducción al análisis de circuitos, Robert L. Boylestad, Pearson Educación, 2004

- Voltaje de alimentación 5V DC
- Sensibilidad de 185mV/A
- Voltaje de salida proporcional a la corriente.
- Voltaje de salida de offset extremadamente estable.
- Histéresis magnética casi cero.

### **2.13.2 SENSOR DE TEMPERATURA**

El sensor de temperatura es un dispositivo que produce una variación de voltaje al variar sus propiedades físicas como es el caso de los sensores de temperatura resistivos generando una variación de su resistividad a la presencia de variación de temperatura, en el caso del sensor de temperatura mediante termocupla genera directamente un voltaje a presencia de variación de temperatura.

#### **2.13.2.1 SENSOR DE TEMPERATURA LM35**

El LM35 es un sensor semiconductor de temperatura de precisión en circuito integrado que aprovecha la variación de voltaje de entre la base y emisor en respuesta a una variación de temperatura tiene una salida linealmente proporcional a la temperatura en grados centígrados.

Algunas características del sensor de temperatura LM35 son las siguientes:

- Calibrado en grados Celsius.
- Factor de escala 10.0 mV/°C.
- 0.5°C de precisión garantizada (a +25°C).
- Capacidad para rangos de -55° a +150°C.

- Adecuado para aplicaciones remotas.
- Funciona de 4 a 30 Volts.
- Corriente de pérdida menos a 60uA.
- Auto-calentamiento bajo, 0.08 en condiciones normales.
- Baja impedancia de salida 0.1  $\Omega$  para 1mA de carga.

## **2.14 CONVERTOR ANALÓGICO/DIGITAL**

La conversión analógico-digital es un proceso de muestreo, cuantización y codificación en la cual la señal analógica es representada por sus equivalentes en código de estados binarios.

### **2.14.1 MUESTREO Y RETENCIÓN (SAMPLING AND HOLD)**

El circuito de muestreo y retención permite sostener la señal para no perder bits de información antes de entrar en el proceso de cuantificación y codificación. De este circuito depende el tiempo de adquisición que es el tiempo que el condensador carga. El error de tiempo de apertura se lleva a cabo en este circuito. Este se muestra en la figura 2.7.

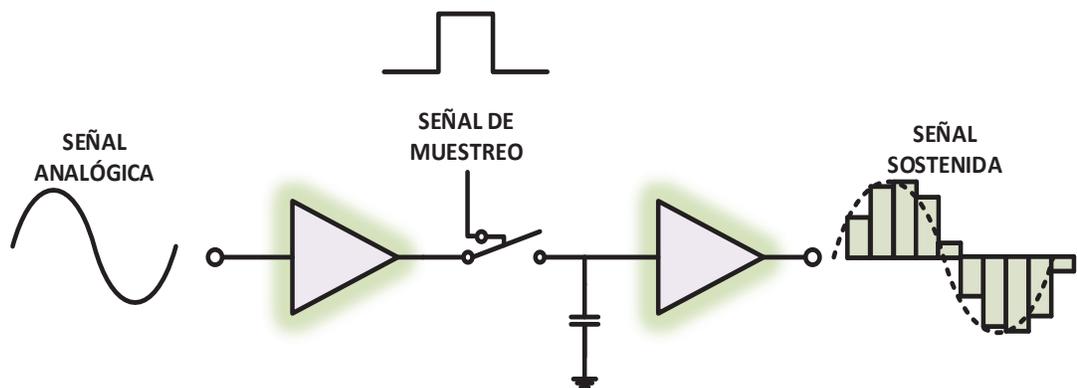


Figura 2.7 Diagrama de muestreo y retención

### 2.14.2 CUANTIFICACIÓN

Una vez muestreada y retenida o sostenida la señal se procede a tomar valores de amplitud de la señal analógica sostenida convirtiéndolas en una sucesión de valores discretos que se preestablecen según al código utilizado obteniendo así una señal discreta, a dicho proceso se le denomina proceso de *cuantificación*.

### 2.14.3 CODIFICACIÓN

La *codificación* es el proceso posterior a la cuantificación. En este proceso se asignan valores binarios a la señal discreta obtenida en el proceso de cuantificación. La *codificación* es el último proceso de la conversión analógica digital obteniendo de éste una señal de tren de pulsos binarios agrupados en tramas de N número de bits. El número de bits N determinará la capacidad de conversión del conversor analógico digital principalmente en términos de resolución de conversión.

#### 2.14.4 RESOLUCIÓN DE CONVERTIDOR ANALÓGICO DIGITAL

La resolución del conversor analógico digital depende del voltaje de referencia y del número de bits del conversor. La resolución de un conversor análogo-digital es la cantidad mínima, expresada en voltaje, a ser considerada como una unidad de conversión en términos del número de bits del conversor. La resolución determina la precisión de con la que se reproduce la señal analógica original.

Depende del número de bits del convertidor que dará el valor más pequeño de la señal que será representada en estados binarios.

$$\text{Resolución} = \frac{V_{\text{ref}}}{2^N - 1}$$

*Donde:*

*$V_{\text{ref}}$ : Tensión máxima de entrada del conversor o de referencia.*

*$N$ : Número de bits del conversor.*

$V_{\text{ref}}$  normalmente es el voltaje de alimentación del conversor analógico digital.

#### 2.14.5 CONVERTOR ANALÓGICO DIGITAL MCP3208

El MCP32008 es un conversor analógico digital de 12-bit de resolución de 8 canales analógicos y la comunicación con otros dispositivos se realiza mediante interface serial SPI.

Algunas características del conversor MCP3208 son las siguientes:

- 12-bit de resolución.

- +-1 LSB máx DNL.
- +-1 LSB máx INL.
- 8 puertos de entrada analógica.
- Entradas analógicas programables.
- Muestreo y retención On-chip.
- Interface serial SPI.
- Funciona con fuente simple: 2.7-5.5V.
- 100 Kilo-muestras por segundo máx. tasa de muestreo a VDD=5V y 50 kilo-muestras por segundo a VDD=2.7V.
- Tecnología CMOS de baja potencia.
- Rango industrial de temperatura: -40°C a +85°C.

## 2.15 FILITRO DIGITAL FIR MEDIA MOVIL<sup>11</sup>

El filtro digital de Respuesta Finita al Impulso FIR (Finite Impulse Response) es un filtro de lineal e invariante en el tiempo cuya implementación se realiza mediante la suma de convolución de la señal de entrada con la respuesta al impulso del filtro. En este caso, la salida del filtro en cada instante es un promedio ponderado de la muestra actual y muestras pasadas.

$$y[n] = (x * h)[n]$$

---

<sup>11</sup> The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing, Steven W. Smith, Segunda edición, Editorial California Technical Publishing.

$$y[n] = \sum_{i=0}^M h[i]x[n - i]$$

$$y[n] = b_0x[n] + b_1x[n - 1] + b_2x[n - 2] + \dots + b_Mx[n - M]$$

Dentro de los filtros digitales se pueden clasificar según el tipo de implementación como se puede observar en la tabla 2.2:

Tabla 2.2 Tipos implementación de filtro FIR

	IMPLEMENTACIÓN MEDIANTE	
	Convolución <i>Respuesta al impulso finita (FIR)</i>	Recursión <i>Respuesta al impulso finita (FIR)</i>
<b>USADO PARA</b> Dominio del tiempo <i>Suavizado</i>	Media móvil	Un polo
Dominio de la frecuencia <i>separación de frecuencias</i>	Sinc enventanado	Chebyshev
<b>Personalizado</b> <i>Deconvolución</i>	FIR personalizado	Diseño iterativo

De la clasificación de los filtros FIR del filtro usado para dominio del tiempo denominado Media móvil es el más usado debido a su sencilla implementación. En un filtro de media móvil de largo M, la salida actual consiste en el promedio de las últimas M muestras de la entrada.

$$y[n] = \frac{1}{M} \sum_{k=0}^{M-1} x[n - k]$$

Ejemplo del cálculo de la muestra n=80 de la salida de un filtro de largo M=5.

$$y[80] = \frac{x[80] + x[79] + x[78] + x[77] + x[76]}{5}$$

## 2.16 RASPBERRY PI

Es un ordenador de propósito general quiere decir que es una plataforma flexible que permite el manejo de puertos y periféricos mediante configuraciones programables. Al igual que cualquier computadora la plataforma Raspberry Pi utiliza un sistema operativo LINUX adaptado a sus condiciones denominado Raspbian.

En la figura 2.8 podemos observar los componentes y partes de la plataforma Raspberry Pi en la versión 3 en el que podemos observar controladores y periféricos.

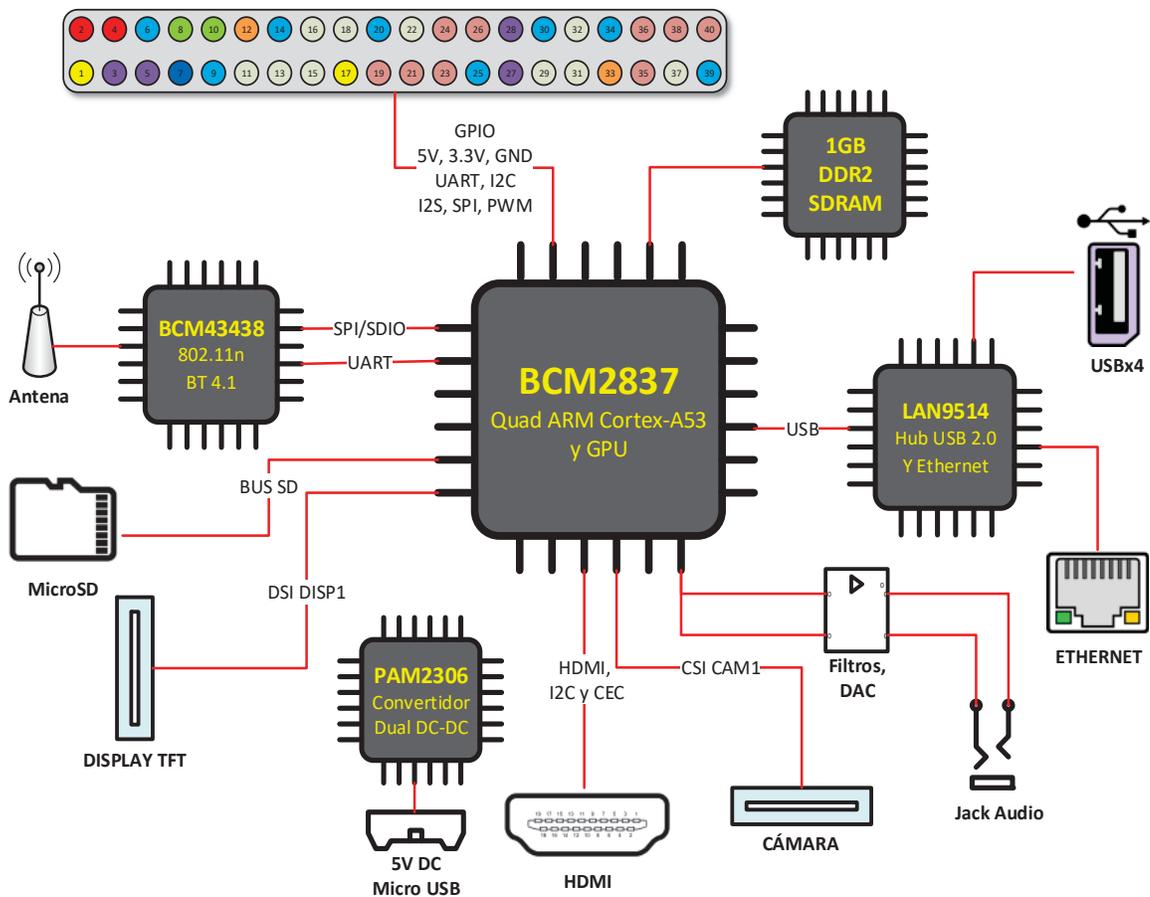


Figura 2.8 Estructura de Hardware de la plataforma Raspberry Pi V3.

#### **A. El puerto USB**

Es un puerto de dos entradas de puerto USB 2.0.

#### **B. Puerto Ethernet**

Es un conector estándar Ethernet RJ45.

#### **C. Conector de cámara de interface serial**

Este conector permite conectar un módulo de cámara directamente a la tarjeta sin necesidad de puertos como el USB.

#### **D. Conector HDMI**

El puerto HDMI provee salida de audio y video digital, soporta 14 tipos de resolución de video.

#### **E. El procesador**

El corazón o el cerebro del Raspberry pi es un procesador Broadcom BCM2837 de 64 bit que trabaja a 1.2 GHz, el cual está construida basada en la arquitectura del procesador ARM11 con 1GB de memoria RAM y cuyo consumo de energía es baja.

#### **F. Entrada de fuente energía**

Es un conector de alimentación de modelo MicroUSB con capacidad de entrada de 5 Voltios.

#### **G. Entrada de Memoria SD(Secure Digital)**

Es la ranura de entrada de la memoria microSD, que es utilizado como disco duro ya que en esta va instalado el sistema operativo y demás complementos de software.

## **H. Puerto de entrada y salida de propósito General GPIO (General Purpose Input and Output)**

Es el puerto de entrada y salida digital el cual puede ser configurado y gestionado mediante software como Python.

## **I. Conector para interface gráfica de interface serial**

Este conector permite conectar directamente con pantallas interface gráfica LCD u OLED.

## **J. Controlador inalámbrico**

BCM43438 Controlador wireless LAN y Bluetooth.

### **2.16.1 PUERTO DE ENTRADA Y SALIDA DE PROPÓSITO GENERAL GPIO**

El puerto de entrada y salida de propósito general (en adelante GPIO), puede ser configurado para controlar hardware, como por ejemplo LEDs, motores y relés, cuyos pines son configurados como salida. De la misma forma el puerto GPIO puede ser configurado como entradas y así pudiendo leer dispositivos como pulsadores, interruptores, sensores de temperatura, de luz, de movimiento y muchos más.

A continuación, se describe en la figura 2.9 los pines del puerto GPIO:

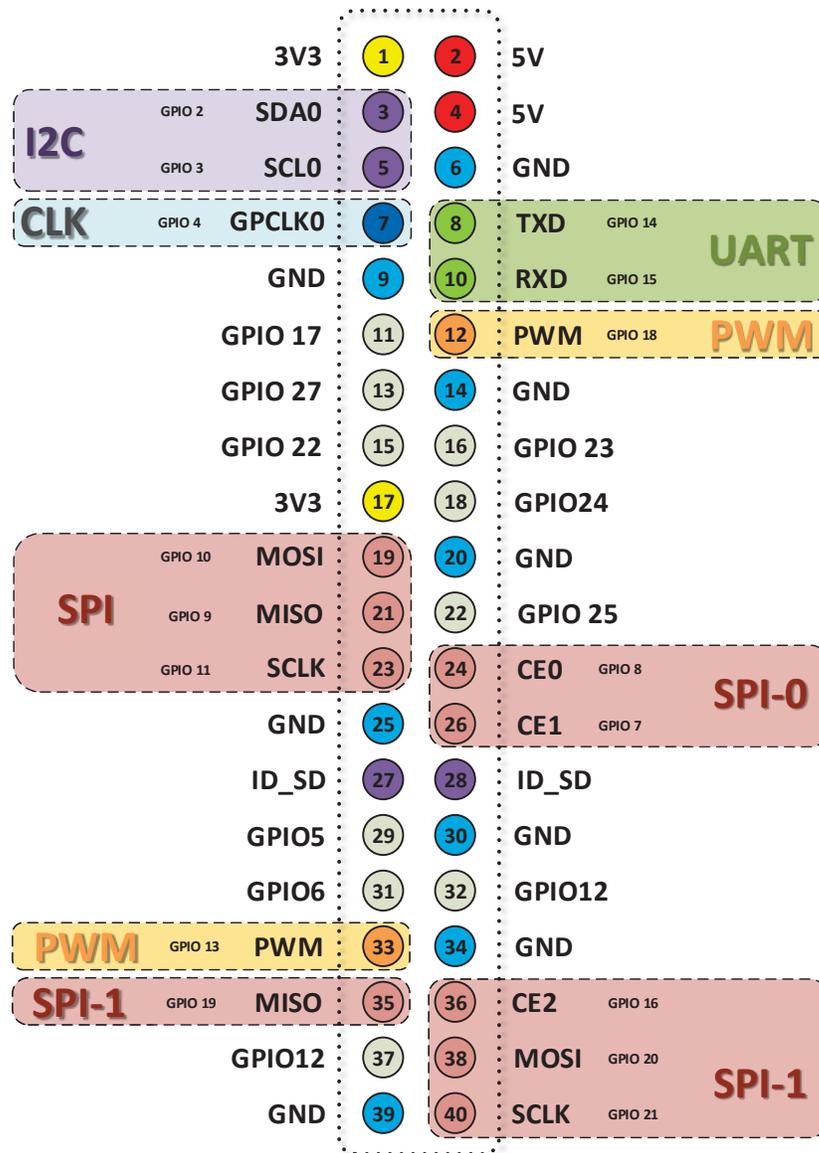


Figura 2.9 Distribución de pines del puerto GPIO del Raspberry Pi

El puerto GPIO, contiene diferentes pines de los cuales tiene un conjunto de puertos especificados para la gestión de módulos que necesiten comunicación I2C, SPI, CLK, UART. En general todos los pines, excepto los de señal alimentación como el de 3.3 V, 5 V y GND, son configurables como entrada y salida digital.

### **2.16.2 RASPBIAN<sup>12</sup>**

Es un sistema operativo libre que se basa en Debian el cual fue optimizado para la plataforma Raspberry Pi. Este sistema operativo es el conjunto de programas básicos y utilitarios que hacen que funcione la plataforma Raspberry Pi. Raspbian ofrece 35000 paquetes de software preconfigurado.

### **2.17 PUERTO SERIE SINCRONO (SSP)<sup>13</sup>**

Protocolo de comunicación serial entre dos micro-controladores y/o dispositivos periféricos, existen dos métodos de transmisión:

#### **2.17.1 COMUNICACIÓN I2C**

Es una interfaz que se usa para la comunicación entre microcontroladores y periféricos con gran capacidad en modo Half-duplex (Transmisión en un solo sentido).

#### **2.17.2 COMUNICACIÓN SPI**

Esta interface es desarrollado para la comunicación entre dos o más microcontroladores de la misma o diferente tipo o familia en configuración maestro-esclavo en modo Full-Duplex (Transmisión en ambos sentidos en un mismo instante).

---

<sup>12</sup> <https://www.raspbian.org/>

<sup>13</sup> Compilador C CCS y simulador PROTEUS para microcontroladores PIC, Eduardo Garcia Brejio, Editorial Alfaomega

## 2.18 PYTHON

Python es un lenguaje interpretado, lo que significa que se puede escribir un programa o script y ejecutarlo directamente en lugar de compilarlo en código de máquina. Los idiomas interpretados son un poco más rápidos de programar, y se obtienen algunos beneficios secundarios. Por ejemplo, en Python no tiene que indicar explícitamente al equipo si una variable es un número, una lista o una cadena; El intérprete calcula los tipos de datos cuando ejecuta el script<sup>14</sup>.

## 2.19 HTML

HTML, sigla en inglés de *HyperText Markup Language* (lenguaje de marcas de hipertexto), hace referencia al lenguaje de marcado para la elaboración de páginas web. El lenguaje HTML basa su filosofía de desarrollo en la diferenciación. Para añadir un elemento externo a la página (imagen, vídeo, script, entre otros.), este no se incrusta directamente en el código de la página, sino que se hace una referencia a la ubicación de dicho elemento mediante texto. De este modo, la página web contiene solamente texto mientras que recae en el navegador web (intérprete del código) la tarea de unir todos los elementos y visualizar la página final<sup>15</sup>.

---

<sup>14</sup> Getting Started with Raspberry Pi, Matt Richardson and Shaw Wallace, Primera Edición, Editorial Brian Jepson

<sup>15</sup> <https://es.wikipedia.org/wiki/HTML>

## 2.20 Lenguaje estructurado de consulta SQL (Structured Query Language)<sup>16</sup>

Es un lenguaje de consulta estructurada para plataformas de bases de datos, creada por la compañía IBM como software relacional que posteriormente se convierte en Oracle Corp.

El lenguaje de consulta SQL se divide en subconjuntos como son:

- **DDL (Data Definition Language)**

Agrupar los lenguajes que permiten crear, modificar y eliminar la estructura de base de datos.

- **DML (Data Manipulation Language)**

Conjunto de comandos que permiten la manipulación de los datos contenidos en la base de datos.

- **DCL (Data Control Language)**

Conjunto de comandos que permite el control y administración de accesos a los datos de la base de datos.

- **TCL (Transaction Control Language)**

Conjunto de comandos que permiten administrar la admisión o no de las actualizaciones o acciones sobre la base de datos.

---

<sup>16</sup> SQL: Los fundamentos del lenguaje, Ediciones ENI 2014, Eric Godoc.

## **2.21 SOFTWARE<sup>17</sup>**

EL software es definido en sistemas informáticos como la parte intangible de un ordenador, un conjunto de instrucciones lógicas que realizan una determinada tarea.

## **2.22 HARDWARE**

Es el elemento físico de un sistema de información que constituye un conjunto de componentes electrónicos y mecánicos que realizan funciones de procesamiento, almacenamiento y transferencia de información eléctrica.

---

<sup>17</sup> Sistemas operativos monopuesto, Jesus Niño Camazón, Editex 2011

## CAPITULO III

### DISEÑO DEL SISTEMA

#### 3.1 DISEÑO DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN

El sistema de comunicación deberá ser capaz de generar un enlace de comunicación entre el Raspberry Pi, el cual será el gestor de los datos almacenados y datos en tiempos real, con la parte usuaria mediante una computadora de escritorio, Laptop o Smartphone.



*Figura 3.1 Diagrama general de comunicación.*

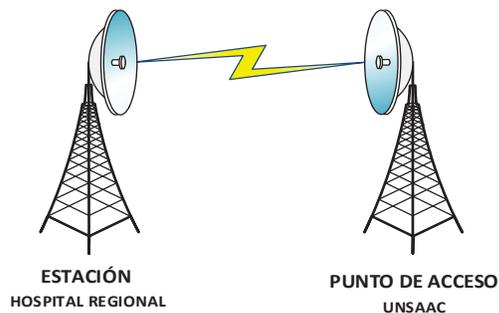
El sistema de comunicación se define en dos partes, la primera es la etapa del radioenlace microondas basada en la tecnología WISP por sus siglas en inglés (Wireless Internet Service Provider), esta tecnología es elegida debido a que, a diferencia a otras soluciones inalámbricas, esta se caracteriza por gestionar protocolos de comunicación Ethernet adecuado para la comunicación Ethernet que posee la plataforma Raspberry Pi.

La segunda etapa es la etapa del servicio VPN (Virtual Private Network), cuyos diseños se pasan a describir en los ítems que siguen. De las soluciones existentes se cotejaron entre el servicio de hosting o hospedaje en servidores de datos en la nube y un servicio VPN, a diferencia de un servidor de base de datos en la nube el servicio VPN permite acceder a la red como si estuviéramos dentro de la misma red

local y así poder configurar y acceder directamente a la plataforma Raspberry Pi y los radioenlaces, es por esta razón la elección de la solución VPN.

### 3.1.1 DISEÑO DEL SISTEMA DE RADIOENLACE

El sistema de radioenlace planteado para el primer tramo de red que va desde el hospital regional, donde se encuentra el sistema el prototipo de investigación en fototerapia, hasta la Universidad San Antonio Abad del Cusco específicamente en la torre de comunicaciones de la escuela profesional de Ingeniería electrónica donde se cuenta con un acceso a internet y que debe estar configurado una como Estación y otra como Punto de Acceso descrita gráficamente en la siguiente figura 3.2.



*Figura 3.2 Sistema de radioenlace punto a punto.*

La necesidad de salir al acceso a internet por medio de radioenlace es debido a que el hospital regional no cuenta con acceso a internet en el pabellón donde se implementa el prototipo de investigación en fototerapia, y el acceso de internet en otras unidades lejanas es totalmente deficiente en cuanto a características de ancho de banda lo que no garantiza una conexión eficiente de una red privada virtual (VPN) que más adelante se desarrollará sus componentes.

Dentro de los sistemas de comunicación aplicados a sistemas de telemetría, existen diferentes métodos y sistemas de los cuales uno se realiza mediante radioenlaces.

El tipo de medio de transmisión elegido es debido a que la plataforma Raspberry Pi posee el manejo del protocolo de comunicación Ethernet, también la plataforma Raspberry Pi trabaja con el sistema operativo Linux al que puede ser configurado como un servidor web y así tener gestores de base de datos y generar reportes en entornos de lenguaje Html.

El sistema de radioenlace en el sistema de comunicación es uno de los elementos más importantes ya que este sirve como medio de transmisión remota de la información generada en el servidor de la plataforma Raspberry pi.

La tecnología de transmisión por radioenlace conocida como Proveedor de servicio de internet inalámbrico por sus siglas en ingles WISP (Wireless Internet Service Provider) trabaja en las bandas de frecuencia libre, basados en el protocolo 802.11. En el mercado se encuentran diferentes fabricantes, que basan sus prototipos en ésta tecnología, tal es el caso de Motorola (Cambium Networks), WaveIP, Alvarion, Mikrotik, Ubiquiti, como las más importantes.

En el caso del fabricante Ubiquiti han desarrollado una tecnología que denominan airMAX la cual esta repotenciado por el protocolo de Acceso Múltiple por División de Tiempo TDMA (Time Division Multiple Access), esto le permite escalar al sistema con mejores performance en la transmisión de voz y video con menor latencia de

*transmisión y provee gran inmunidad ante la presencia de ruido y esto favorece aún más en las condiciones de presencia de interferencias dentro de una ciudad.*

El lugar de aplicación del sistema de radioenlace está ubicado en un lugar céntrico de la ciudad en el que se tiene la presencia de múltiples tecnologías inalámbricas ya sean puntos de acceso WIFI, otros sistemas de radioenlaces microondas. Es por estas razones descritas que se elige la solución del fabricante Ubiquiti, cabe mencionar que el fabricante Cambium networks presenta similares o mejores características de inmunidad a interferencias, sin embargo en la elección de la solución Ubiquiti se tomó en cuenta la potencia de alimentación del equipo radioenlace Cambium networks que es prácticamente el triple de consumo de energía, ya que el radionelace planteado en lado de Punto de acceso del Hospital regional se aprovecha la alimentación fotovoltaica que no soportaría dicha potencia de alimentación del sistema radioenlace de la solución Cambium networks.

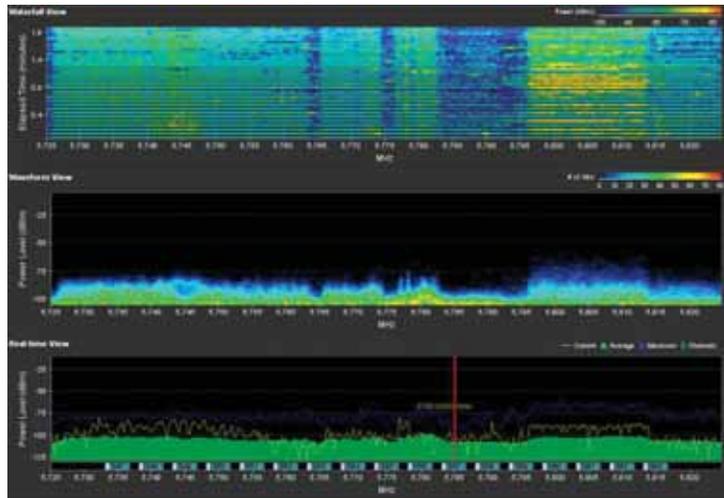
Descrito las características del sistema de radioenlaces, se procedió a escanear las frecuencias que ya están siendo usadas gracias a la herramienta de escaneo de sitio que posee la tecnología Ubiquiti y se muestra en la figura 3.3.

Site Survey (Escaneo del sitio)						
Frecuencias escaneadas:						
5.18GHz 5.2GHz 5.22GHz 5.24GHz 5.26GHz 5.28GHz 5.3GHz 5.32GHz 5.5GHz 5.52GHz 5.54GHz 5.56GHz 5.58GHz 5.6GHz 5.62GHz 5.64GHz 5.66GHz 5.68GHz 5.7GHz 5.745GHz 5.765GHz 5.785GHz 5.805GHz 5.825GHz						
Dirección MAC	SSID	Nombre del dispositivo	Encriptación	Señal / Ruido, dBm	Frecuencia, GHz	Canal
88:DC:96:0A:2E:90	master1		WPA2	-86 / -91	5.18	36
24:A4:3C:FA:22:79	MECAREDES 1	COLECT1	WPA	-84 / -92	5.2	40
B4:E9:B0:59:B5:0E	UNSAAC-DOCENTES		WPA2	-83 / -93	5.22	44
B4:E9:B0:59:B5:0C			WPA2	-82 / -93	5.22	44
B4:E9:B0:59:B5:0F	UNSAAC-ALUMNOS		WPA2	-82 / -93	5.22	44
24:A4:3C:AE:05:FE	kipu-cen-man	Rocket M5	WPA2	-84 / -93	5.22	44
B4:E9:B0:59:B5:0B			WPA2	-82 / -93	5.22	44
B4:E9:B0:59:B5:0D	UNSAAC-ADMIN		WPA2	-82 / -93	5.22	44
00:27:22:86:B0:DE	Progreso_PJ	UBNT	WPA2	-80 / -92	5.28	56
00:27:22:36:30:9E	Digital1001	Transmisor1001	WPA	-81 / -92	5.5	100
00:27:22:48:22:69	Pal_Sjeronimo	UBNT	WPA2	-85 / -91	5.52	104
24:A4:3C:34:33:90		NanoBridge M5	WPA2	-84 / -90	5.64	128
DC:9F:DB:64:7E:09	BYORED	Limacpampa	WPA2	-84 / -89	5.7	140
00:15:61:10:3D:BB	PSPANCHO		NONE	-90 / -91	5.26	52
DC:9F:DB:48:60:9B	NB5-DSW-BIF	NanoBridge M5	NONE	-86 / -92	5.28	56
DC:9F:DB:62:D3:2A	Wsunat	CSC Wanchaq	WEP	-76 / -85	5.825	165
00:02:6F:7C:E2:0F	EG_Marcavalle_Pal		NONE	-78 / -85	5.825	165

*Figura 3.3 Frecuencias usadas en el entorno de la universidad San Antonio Abad del Cusco.*

La tabla de la figura 3.3 nos muestra la cantidad de sistemas inalámbricos y su respectiva frecuencia, dentro de este grupo tomamos en cuenta las de frecuencias que se encuentran en el intervalo de 5.7GHz a 5.8GHz, ya que las frecuencias de 5.0 a 5.2GHz son normalmente usadas para puntos de acceso que brinda WIFI.

Para una mejor visualización del espectro de frecuencias en la zona, se utiliza el analizador de espectros AirVIEW herramienta de la tecnología Ubiquiti, esta herramienta nos permite visualizar el nivel de potencia en dBm del espectro de frecuencias existentes alrededor de la zona donde se desea instalar el sistema de radioenlace. Que se muestra con mayor detalle en la figura 3.4.



*Figura 3.4 Análisis de espectro del entorno.*

El espectro de frecuencias nos permite elegir las frecuencias que están libres o poseen menor potencia y así poder elegir la frecuencia a la que configuraremos nuestro sistema de radioenlaces y el canal en el que realizan la transmisión. El analizador de espectros nos muestra que en el rango de frecuencias de 5.785GHz a 5.795GHz se tiene de armónicos o señal de ruido se presnetta con menor potencia que en otros rangos de frecuencia, y se corrobora con la tabla de la figura 3.3 donde no se encuentran redes inalámbricas con esta frecuencia. Por lo tanto, se determina que la frecuencia de transmisión del sistema de radioenlaces será de 5.785GHz a 5.795GHz.

La PIRE (Potencia Isotrópica Radiada Efectiva) o EIRP (Effective Isotropic Radiated Power), por sus siglas en inglés, se calcula según la siguiente fórmula:

$$PIRE = Potencia\ de\ transmisión\ (dBm) - Atenuación\ (dB) + Ganancia\ de\ antena\ (dBi)$$

Las características de transmisión con del sistema de radioenlace serán las siguientes:

- Potencia de transmisión= 8dBm
- Atenuación (Perdidas en cable y conectores) = 0dB
- Ganancia de antena= 22dBi

$$PIRE = 8 - 0 + 22 = 30dBm = 1.0W$$

Con las características ya mencionadas se procede a realizar la simulación del sistema de radioenlace. La simulación y el cálculo del sistema de radioenlace se realizan mediante la herramienta Radio Mobile, que nos proporciona una referencia de las características del relieve terrestre entre los puntos de transmisión y las características del espacio libre de transmisión en base a los parámetros de transmisión anteriormente descritos.

The screenshot shows the configuration window for a system named 'Base'. The window has a list of systems on the left and a configuration panel on the right. The configuration panel includes fields for system name, transmitter power, receiver threshold, line loss, antenna type, antenna gain, antenna height, and additional cable loss. The values are set as follows:

Parameter	Value	Unit
Nombre del sistema	Base	
Potencia del Transmisor (Watt)	309574E-03	(dBm) 8
Umbral del receptor (µV)	70795	(dBm) -90
Pérdida de la línea (dB)	0	( Cable+cavidades+conectores )
Tipo de antena	omni.ant	Ver
Ganancia de antena (dBi)	22	(dBd) 19.85
Altura de antena (m)	20	( Sobre el suelo )
Pérdida adicional cable (dB/m)	0	( Si la altura de la antena difiere )

Figura 3.5 Cuadro de configuración con parámetros de diseño.

En las figuras 3.6 y 3.7 se muestran la simulación del enlace inalámbrico, de los cuales podemos observar que se tiene las primeras tres zonas de fresnel libre de obstáculos.



Figura 3.6 Simulación del enlace.

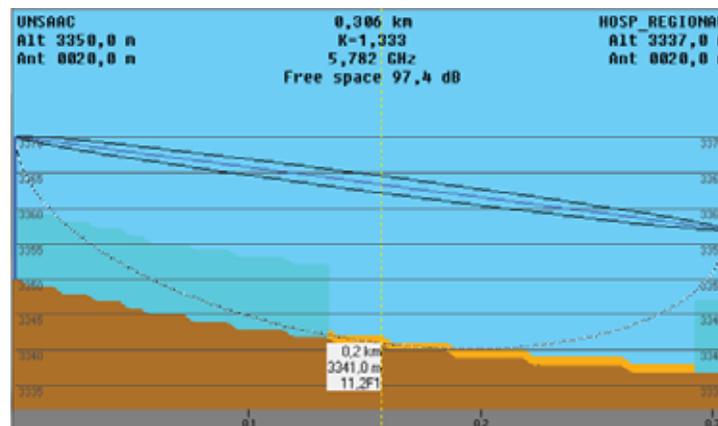


Figura 3.7 Reporte del enlace mediante Radio Mobile.

El patrón de Radiación con el que se simula es del equipo radioenlace NanoBeam M5 del Fabricante Ubiquiti, el que fue descargado desde su página web<sup>18</sup>.

<sup>18</sup> <https://help.ubnt.com/hc/es/articles/204952114-airMAX-datos-de-la-antena>

El patrón de radiación, la elevación y el azimut de la antena se muestra en la figura 3.8.

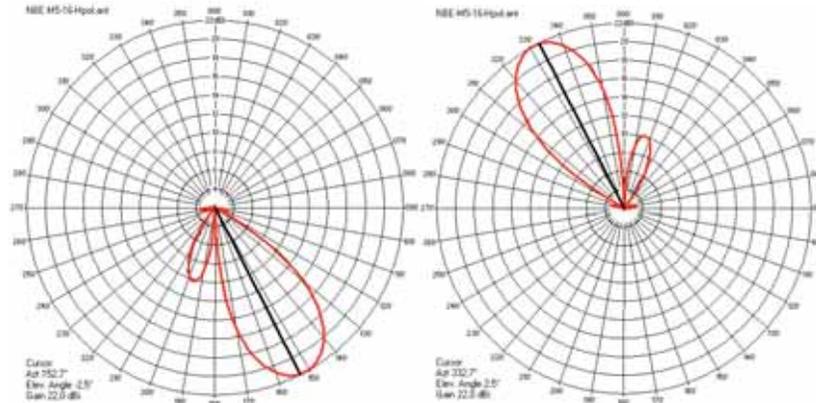


Figura 3.8 Patrón de radiación, elevación y azimut de la antena del punto de acceso UNSAAC (derecha) y de la estación HOSP\_REGIONAL (izquierda).

Tomando los datos obtenidos del análisis y simulación del sistema de radioenlace se tiene en resumen la tabla 3.1.

Tabla 3.1 Parámetros de diseño de sistema de radioenlace.

**CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE RADIOENLACE**

<b>PARÁMETRO</b>		<b>VALOR</b>
<b>PUNTO DE ACESO UNSAAC</b>	Latitud	-13,52114
	Longitud	-71,95679
	Altitud	3350 m
	Ganancia de antena	22 dBi
	Altura de torre	20m
	Azimut	152,71°
	Elevación	-2,51°
<b>ESTACIÓN HOSPITAL REGIONAL</b>	Latitud	-13,52359
	Longitud	-71,9555
	Altitud	3337m
	Ganancia de antena	22dBi
	Altura de torre	20m
	Azimut	332,71°
	Elevación	2,51°
<b>Distancia entre puntos</b>		0,306 Km
<b>Potencia de Tx</b>		8 dB
<b>Frecuencia</b>		5785GHz

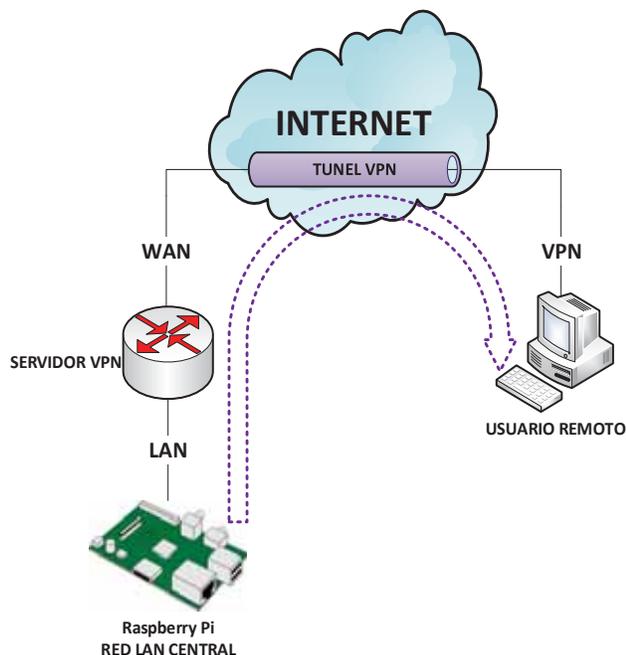
En resumen, los materiales necesarios para la implementación de este ítem serán los siguientes:

*Tabla 3.2 Materiales para implementar el sistema de radioenlace.*

<b>ITEM</b>	<b>MATERIAL</b>	<b>CANTIDAD</b>
3.1.1.1	Equipo de radioenlace 22dBi	2
3.1.1.2	Rollo de cable STP	1
3.1.1.3	Conectores RJ54	4

### 3.1.2 DISEÑO DEL SERVICIO VPN

EL servicio VPN permitirá a un usuario remoto acceder a la red LAN (Local Area Network) al cual pertenece el colector y gestor de datos desarrollado en la plataforma Raspberry Pi Descrita en la figura 3.9.



*Figura 3.9 Diagrama general de servicio VPN.*

El servicio VPN será gestionado por un servidor VPN el cual será configurado para asignar una dirección IP al usuario remoto que desee conectarse a la red VPN y también administrar los usuarios y contraseñas para acceder a la red.

En el caso de que el usuario remoto acceda a la VPN el servidor VPN le asigna una dirección IP en el rango de 172.16.22.0/24.

El servidor VPN también gestionará una red local independiente local con diferente rango de IPs a la red LAN que genera el modem enrutador de la empresa operadora que brinda el servicio de internet y así evitar conflicto de direcciones IPs ya que este modem genera direcciones IP en modo DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) o IP dinámico que normalmente están en el rango de IP 192.168.1.0/24, por tanto el rango de IP para la red Local independiente será el 192.168.2.0/24, el sistema de radioenlaces y la plataforma Raspberry Pi pertenecerán a este rango de IP.

El acceso a la red VPN se realiza mediante una dirección perteneciente a la red WAN denominada IP pública que el proveedor de internet asigna al usuario de servicio de internet, en este caso la IP pública asignada por el proveedor de servicio de internet es 181.224.255.178.

En resumen, se puede mostrar la siguiente tabla:

*Tabla 3.3 Segmentos de direcciones IP para el servicio VPN.*

<b>SEGMENTO</b>	<b>DIRECCIÓN IP</b>	<b>MASCARA</b>	<b>GATEWAY</b>	<b>DNS1</b>	<b>DNS2</b>
<b>WAN</b>	181.224.255.178	-----	-----	-----	-----
<b>LAN Proveedor</b>	192.168.1.0	255.255.255.0	192.168.1.1	8.8.8.8	8.8.4.4
<b>LAN Independiente</b>	192.168.2.0	255.255.255.0	192.168.2.1	8.8.8.8	8.8.4.4

<b>USUARIO VPN</b>	172.16.22.0	255.255.255.0	0.0.0.0	-----	-----
<b>SERVIDOR VPN</b>	192.168.1.232	255.255.255.0	192.168.1.1	8.8.8.8	8.8.4.4
<b>AP_UNSAAC</b>	192.168.2.61	255.255.255.0	192.168.2.1	8.8.8.8	8.8.4.4
<b>EST_HOSP_REG</b>	192.168.2.62	255.255.255.0	192.168.2.1	8.8.8.8	8.8.4.4
<b>RASPBERRY PI</b>	192.168.2.63	255.255.255.0	192.168.2.1	8.8.8.8	8.8.4.4

Y tendríamos una red VPN como se muestra en la figura 3.10.

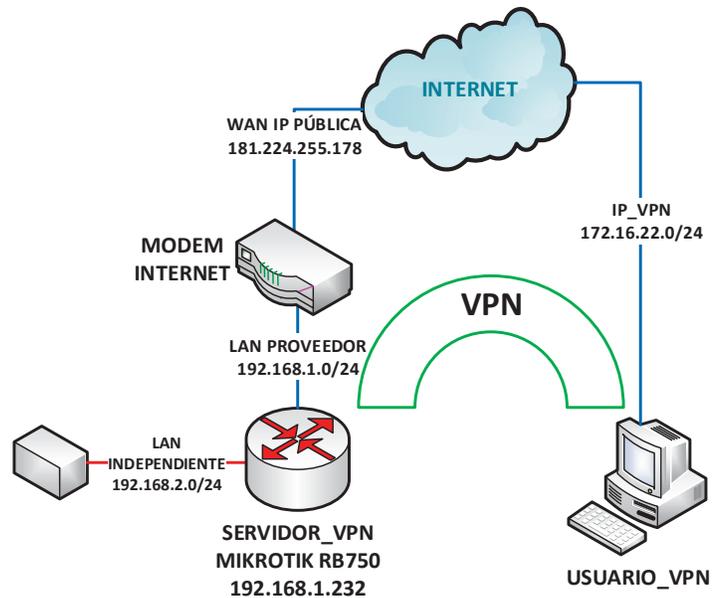


Figura 3.10 Diagrama de diseño de servicio VPN.

En resumen, para la implementación del servicio VPN diseñado se consideran los siguientes materiales:

Tabla 3.4 Materiales para la implementación del servicio VPN.

ITEM	MATERIAL	CANTIDAD
3.1.2.1	ROUTER MIKROTIK	1
3.1.2.2	PATCH CORD DE 1m	2

Finalmente, unido con el sistema de radioenlaces nos daría como resultado el sistema completo de comunicación mostrado gráficamente en la figura 3.11.

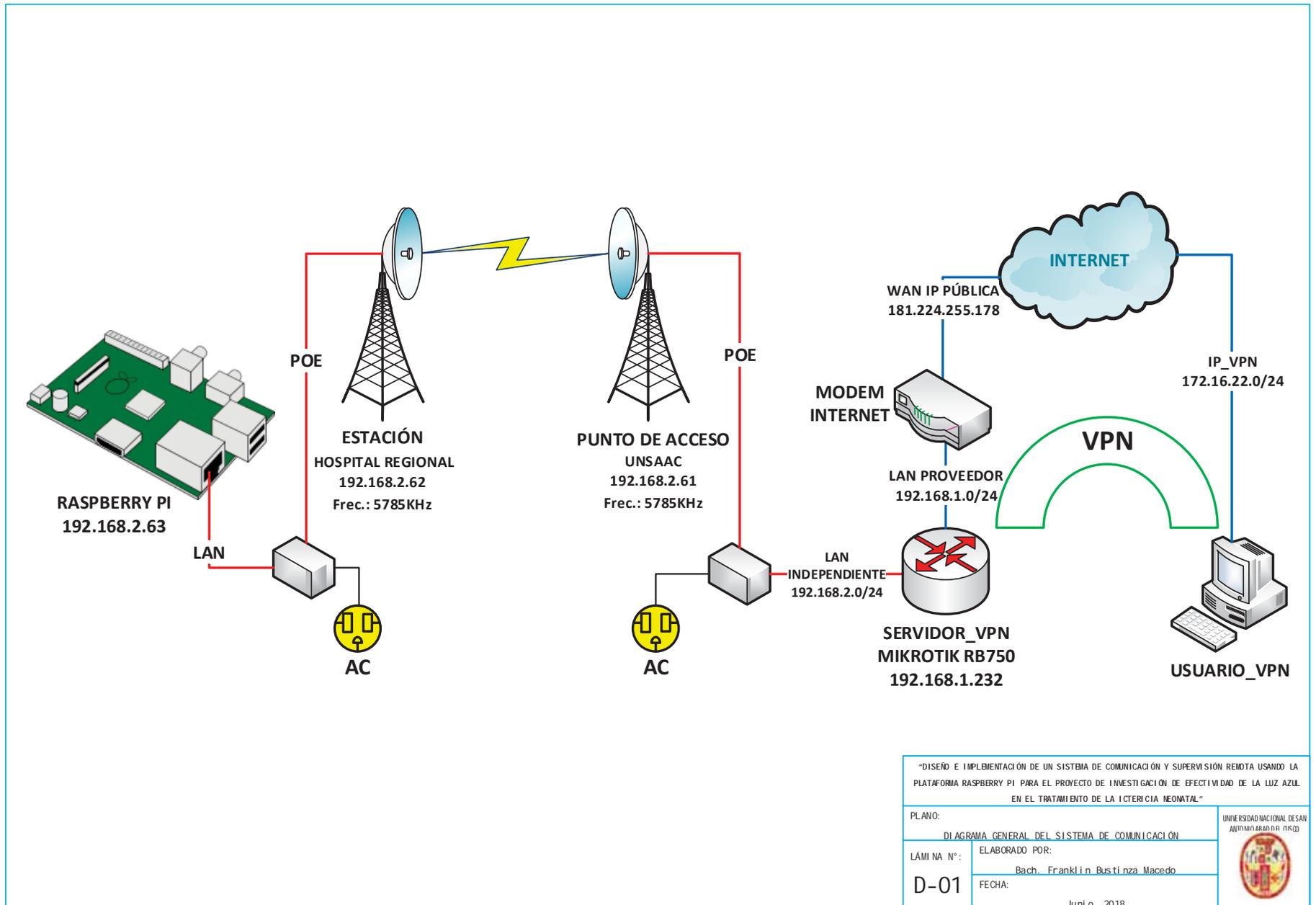


Figura 3.11 Diagrama general diseñado para el sistema de comunicación

### 3.2 DISEÑO DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DE DATOS.

El sistema de acondicionamiento y adquisición de datos contiene diferentes módulos como son:

- a) Módulo de acondicionamiento de señal analógica
- b) Módulo de conversión analógica digital
- c) Módulo de reloj en tiempo real
- d) Módulo de conmutación
- e) Módulo de visualización
- f) Módulo de fuente de alimentación del sistema

Gráficamente se puede mostrar en el siguiente diagrama de la figura 3.12.

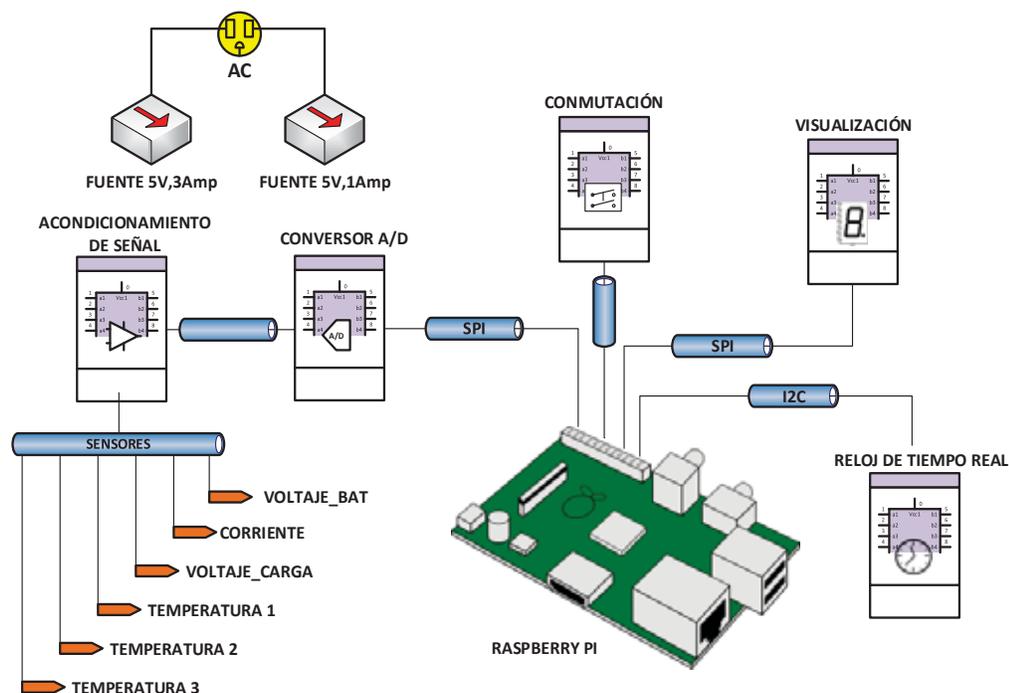


Figura 3.12 Diagrama general de sistema de adquisición de datos.



La ecuación matemática del amplificador de la señal de salida con relación a la señal de entrada quedaría de la siguiente forma:

$$V_{adc} = V_{lm35} * \frac{R2}{R1}$$

Tomando en cuenta el nivel de voltaje con el que trabaja la plataforma Raspberry Pi que viene a ser 3.3 V al considerar una ganancia de 10 ó 100, del amplificador, tendremos un valor de voltaje superior a 3.3V al llegar la temperatura a 33 °C con lo que estaríamos en el límite del voltaje admitido por la plataforma Raspberry Pi, dado que las temperaturas registradas llegan hasta 38°C aproximadamente, por tanto se considera adecuado una ganancia de 5, para lo que se consideran los valores para las resistencias R1=10KΩ y R2=50KΩ.

$$V_{adc} = V_{lm35} * \frac{50K\Omega}{10K\Omega}$$

$$V_{adc} = V_{lm35} * 5$$

El valor numérico real de la temperatura ( $V_{temp}$ ) será entonces el valor de voltaje proporcionado por el conversor analógico digital ( $V_{adc}$ ) multiplicado por 20.

$$V_{temp} = V_{adc} * 20$$

Por tanto, se deberá considerar, para el diseño del código o software de adquisición de datos, agregar un factor de multiplicación igual a 20 para así tener el valor real en °C.

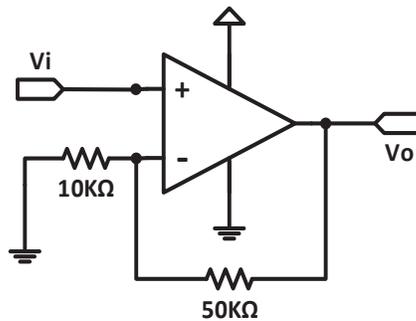


Figura 3.14 Acondicionamiento de señal de temperatura.

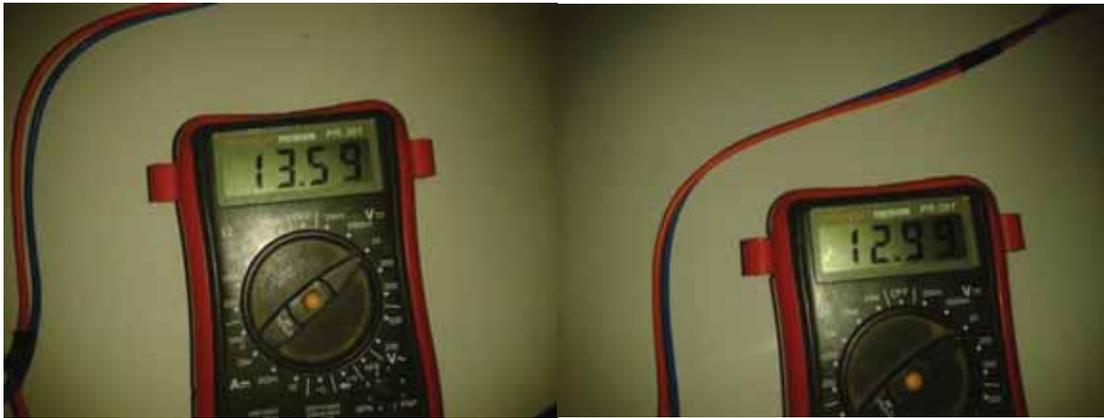
En la tabla 3.5 se muestra el resumen de los materiales que se necesitan para implementar el circuito de acondicionamiento de señal analógica de temperatura.

Tabla 3.5 Materiales para el acondicionador de señal de temperatura

ITEM	MATERIAL	CANTIDAD
3.2.1.1.1	AMPLIFICADOR OPERACIONAL LM358	2
3.2.1.1.2	RESISTENCIA DE 10kΩ	3
3.2.1.1.3	RESISTENCIA DE 50kΩ	3
3.2.1.1.4	SENSOR DE TEMPERATURA	3
3.2.1.1.5	CAPACITOR 1μF	3

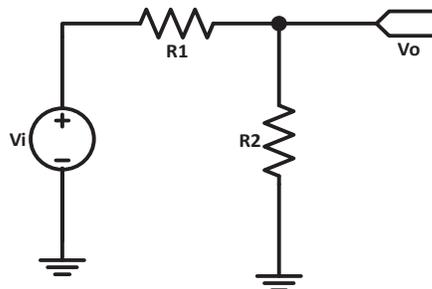
### 3.2.1.2 ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL DE VOLTAJE

El acondicionamiento de la señal de voltaje se dará con un divisor de voltaje ya que el voltaje que se desea adquirir oscila entre 12 y 13.6 Voltios aproximadamente medidos con los dos tipos de fuente de alimentación, energía comercial y energía solar, como se puede observar en la figura 3.15.



*Figura 3.15 Voltajes de alimentación comercial (Derecha) y solar (izquierda) medidos.*

La señal antes mencionada para ser adquirida necesita ser reducida en valores que nos permitan trabajar en los límites de las características eléctricas de entrada del conversor análogo digital y la plataforma Raspberry Pi, para lo que se utilizó el método de divisor de tensión como se muestra en la figura 3.16.



*Figura 3.16 Divisor de tensión.*

El voltaje máximo considerado es de 14 VDC para lo que tendremos a la salida 3.3 Voltios equivalentes a 14 VDC. Aplicando la teoría de divisor de tensión tendremos la siguiente ecuación:

$$V_o = V_i \frac{R_2}{R_2 + R_1}$$

Considerando que  $V_i=14V$  y  $V_o= 3.3V$  tendremos que:

$$3.3 = 14 \frac{R2}{R2 + R1}$$

Resolviendo la ecuación tendremos:

$$3.3 * R1 = 10.7 * R2$$

Para un valor de  $R1=47K\Omega$  tendremos un valor de  $R2=14,5K\Omega$ .

Adicionalmente se agrega un capacitor de paso o bypass para filtrar los ruidos de que genera la corriente alterna como se puede mostrar en la figura 3.17.

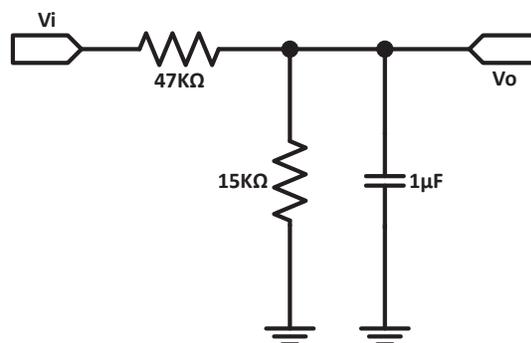


Figura 3.17 Acondicionamiento de señal de voltaje.

El capacitor de bypass según su definición es capaz de proporcionar un voltaje constante o que minimiza el ruido de la fuente conmutada la cual genera un ruido de frecuencia en su proceso de regulación.<sup>19</sup>

En la tabla 3.6 se muestran los materiales que son necesarios para implementar este diseño.

<sup>19</sup> *The Bypass Capacitor in High-Speed Environments*, Edición 1996, Texas Instruments Incorporated

Tabla 3.6 Materiales para el acondicionamiento de señal de voltaje

ITEM	MATERIAL	CANTIDAD
3.2.1.2.1	RESISTENCIA DE 47K $\Omega$	1
3.2.1.2.2	RESISTENCIA DE 15k $\Omega$	1
3.2.1.2.3	CAPACITOR 1 $\mu$ F	1

### 3.2.1.3 ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL DE CORRIENTE

Para la señal de corriente se ha elegido un sensor de corriente de efecto Hall, la razón de la elección de este sensor es que este sensor provoca caída de tensión como es el caso de un sensor con resistencia Shunt que además este genera algún peligro de corrientes de retorno que podría dañar al conversor analógico digital o la plataforma Raspberry Pi, no produce caídas de tensión por tanto sus medidas son más lineales.

Como criterio de diseño se tomaron valores de corriente consumidos por la carga con los dos tipos de alimentación, con fuente de alimentación de energía comercial llega a 2.8 Amperios y con la fuente de energía solar llega a 2.49 Amperios, las mediciones se muestran en la figura 3.18.



Figura 3.18 Corriente medida de la fuente Comercial (derecha) y solar (Izquierda)

Por tanto, un sensor se puede determinar que se necesita un sensor que soporte la medición de hasta 5 amperios de corriente y entre los sensores comerciales que cumple con estas características es el sensor de corriente ACS712.

Como se puede mostrar en la figura 3.19 se utiliza los componentes que en su hoja de datos recomienda.

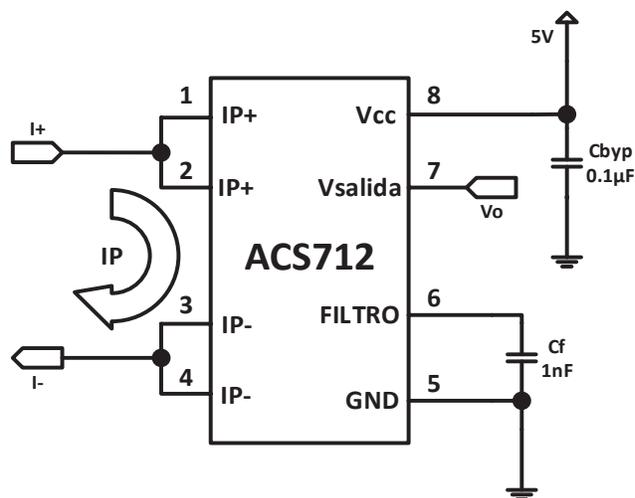


Figura 3.19 Sensor de corriente ACS712

El sensor de corriente ACS712 tiene un factor de sensibilidad de 185mV por cada 1 Amperio, portanto haremos los cálculos correspondientes para determinar los factores que será multiplicados en el código de conversión para mostrar el valor numérico real de la corriente. Debemos considerar que el sensor de corriente un voltaje neutro en 2,65V (Voltaje medido en corriente 0 o circuito abierto) ya que los valores por encima de este valor son valores positivos de corriente y valores debajo de este serán valores de corriente negativo.

Por tanto. Si  $V_s$ : Voltaje de salida del sensor y  $V_{corr}$ : Voltaje generado por la corriente entonces tenemos que:

$$V_{corr} = V_s - 2.65$$

Al tener el valor del voltaje generado por la corriente podremos tener el valor de la corriente esto multiplicando por el factor de sensibilidad del sensor que viene a ser 185mV/1A.

$$I = \frac{V_s - 2.65V}{180mV}$$

$$I = (V_s - 2.65) * 5.41$$

En el mercado local existe el sensor ya con los componentes mostrados en la figura anterior mas no únicamente el sensor en circuito integrado por tanto los materiales para implementar este acondicionador será únicamente el módulo de sensor de corriente que se muestra en la siguiente tabla.

*Tabla 3.7 Materiales para el sensor de corriente*

<b>ITEM</b>	<b>MATERIAL</b>	<b>CANTIDAD</b>
3.2.1.3.1	MODULO SENSOR DE CORRIENTE ACS712	1

### **3.2.2 MODULO CONVERSIÓN ANALÓGICO DIGITAL**

El conversor analógico digital elegido para este proyecto es el MCP3208 ya que cuenta con 8 canales de entrada analógica y una resolución de 10bits suficientes para cumplir con los requerimientos del sistema de adquisición o adquisición de datos.

El conversor análogo digital MCP3208 está conectado en los pines del puerto SPI que comprenden los pines GPIO7, GPIO8, GPIO9, GPIO10, GPIO11, como se muestra en la tabla 3.8.

*Tabla 3.8 Correspondencia de puertos SPI del GPIO.*

<b>MCP3208</b>	<b>GPIO RASPBERRY PI</b>
<b>CLK</b>	GPIO11
<b>DOUT</b>	GPIO9
<b>DIN</b>	GPIO10
<b>CS</b>	GPIO8
<b>GND</b>	GND
<b>VCC y Vref</b>	3.3V

El cálculo de la resolución del ADC con Vref= 3.3V y lo calculamos de la siguiente manera:

$$\text{Resolución} = \frac{V_{\text{ref}}}{2^N - 1}$$

$$\text{Resolución} = \frac{3.3V}{2^{12} - 1}$$

$$\text{Resolución} = \frac{3.3V}{4096}$$

$$\text{Resolución} = 0,806\text{mV}$$

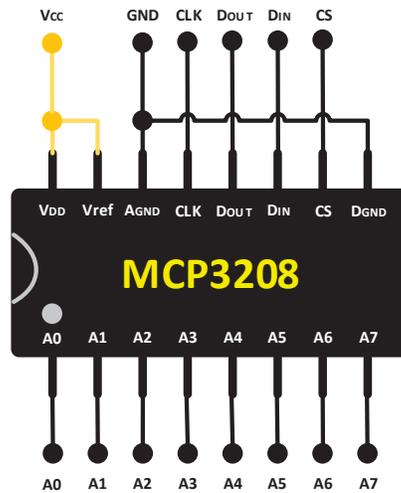


Figura 3.20 Conversor ADC MCP3208.

Para este módulo solo se contará con el conversor analógico digital MCP3208 y no será necesario adicionar ningún elemento más por tanto como material será únicamente el ADC MCP3208 como se muestra en la tabla 3.9.

Tabla 3.9 Materiales para el conversor analógico digital

ITEM	MATERIAL	CANTIDAD
4.2.2.1	CONVERSION ADC MCP3208	1

### 3.2.3 MÓDULO DE CONMUTACIÓN

El prototipo de investigación en fototerapia al cual pretende aportar el presente proyecto cuenta con dos tipos de alimentación, una de las fuentes proviene de la red comercial y otra de energía solar regulada. La función del sistema de conmutación es la de conmutar el tipo de alimentación que suministra al prototipo de investigación. El diagrama del circuito se muestra en la figura 3.21.

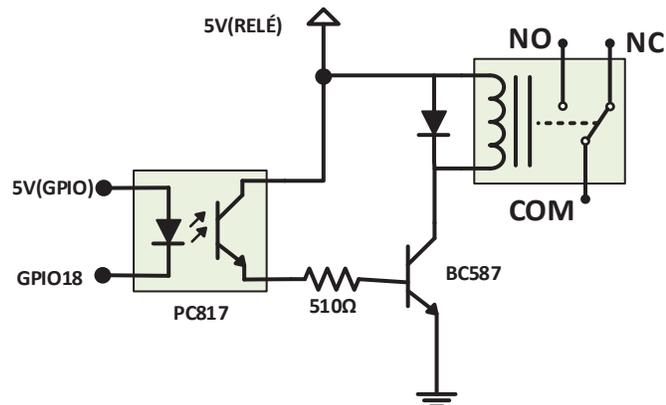


Figura 3.21 Circuito de conmutación con relé y optoacoplador

El programa que será implementado en la plataforma Raspberry Pi será capaz de reconocer un voltaje umbral de la fuente de energía solar regulada en el cual tenga que conmutar a la fuente comercial. Más adelante se describirá gráficamente el diagrama de conexión de las fuentes al Relé que realizará la conmutación.

La alimentación de este módulo específicamente del Relé será independiente de esta manera se evita que no haya retornos de corriente al puerto GPIO que controlará la conmutación.

En este caso se también se usará un módulo ya desarrollado no los mismos componentes propuestos en la figura anterior.

Tabla 3.10 Materiales del módulo relé.

ITEM	MATERIAL	CANTIDAD
3.2.3.1	MODULO RELÉ	1

### **3.2.4 MÓDULO DE RELOJ EN TIEMPO REAL (RTC)**

El sistema de adquisición de datos dentro de los datos que debe adquirir también almacenará datos de año, día y hora ya que les permitirá gestionar y determinar el instante de la lectura de los parámetros medidos del prototipo de investigación.

La plataforma de Raspberry Pi no actualiza su fecha y tiempo al estar desenergizado por lo que se hace necesario adicionar un módulo de reloj en tiempo real externo que mantenga actualizada la fecha y hora del sistema.

Con este motivo se diseña el RTC que será implementado con el circuito integrado DS1307 y según recomienda la hoja de datos del integrado se adicionan 2 resistencias de  $10K\Omega$  conectados entre  $5V_{cc}$  y las salidas SCL y SDA respectivamente para mantener en nivel alto las salidas, un capacitor de paso para eliminar ruido de corriente alterna, un oscilador de  $32.768KHz$  para el reloj y una batería de 3V para energizar el circuito cuando esté desconectado descrita gráficamente en la figura 3.22.

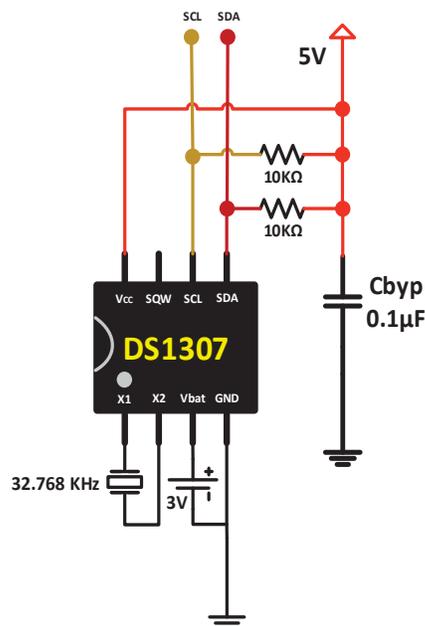


Figura 3.22 Reloj de tiempo real DS1307.

El módulo RTC se conecta con la plataforma Raspberry Pi mediante comunicación I2C por tanto en la tabla 3.11 se muestra los puertos de conexión.

Tabla 3.11 Correspondencia de puerto I2C del GPIO con el RTC.

RTC DS1307	GPIO RASPBERRY PI
SCL	GPIO11
SDA	GPIO9
VCC	5V
GND	GND

Los materiales necesarios para implementar este módulo se describen en la tabla 3.12.

Tabla 3.12 Materiales para el RTC.

ITEM	MATERIAL	CANTIDAD
3.2.4.1	RELOJ DE TIEMPO REAL	1
3.2.4.2	RESISTENCIA DE 10kΩ	2
3.2.4.3	BATERÍA 3V	1
3.2.4.4	OSCILADOR DE 32.768 KHz	1
3.2.4.5	CAPACITOR 22uF	1

### 3.2.5 MODULO DE VISUALIZACIÓN

El módulo de visualización permitirá visualizar la temperatura dentro del ambiente de cuidados intermedios. Se elige mostrar la temperatura mediante display de siete segmentos ya que el tamaño de los dígitos permitirá visualizar a una distancia prudente. Para el control de los display de 7 segmentos haremos el uso del controlador TM1637 el cual podemos encontrar en el mercado local como un módulo con 4 display de siete segmentos cuyo diagrama se muestra en la figura 3.23.

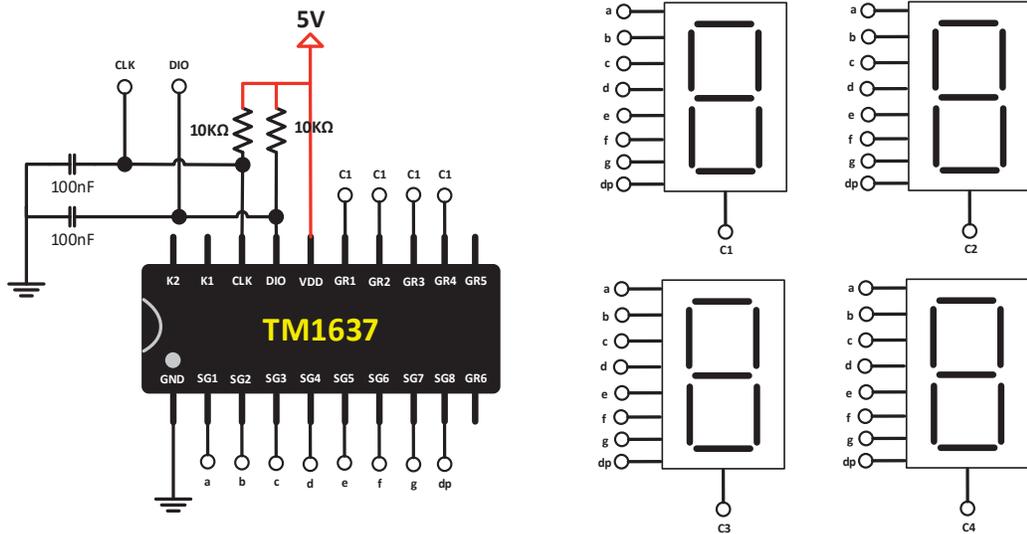


Figura 3.23 Circuito de módulo de visualización.

Para la implementación de este módulo se contará con el módulo TM1637 con display de siete segmentos como se muestra en la tabla 3.13.

Tabla 3.13 Materiales del módulo de visualización

ITEM	MATERIAL	CANTIDAD
3.2.5.1	MODULO DISPLAY 7 SEGMENTOS TM1637	1

### 3.2.6 MÓDULO DE FUENTE DE ALIMENTACIÓN DEL SISTEMA

En el módulo de fuente de alimentación se considera dos fuentes independientes, una fuente de 5 Voltios a 3 Amperios para alimentar la plataforma Raspberry Pi, los acondicionadores de señal analógica, el módulo RTC y el módulo de visualización, otra fuente de 5 Voltios a 1 Amperio para alimentar únicamente el módulo de conmutación.

El fabricante de la plataforma Raspberry Pi recomienda el uso de una fuente de corriente continua de 5 Voltios a 2 Amperios para su alimentación, adicionando el consumo de los demás componentes se considera una fuente que tenga la capacidad de soportar consumos hasta 3 Amperios. Las fuentes de tipo conmutado permiten una estabilidad de salida de voltaje a consumos de corrientes altas teniendo así un voltaje al 97% del nominal al estar a plena carga, a diferencia de una fuente lineal que asegura un 60% del voltaje nominal a plena carga con un consumo de 50% de su capacidad de corriente. Este factor es muy importante debido a que una inadecuada alimentación de la plataforma Raspberry Pi causa daños en el sistema operativo instalado en la memoria MicroSD, borrándolo por completo, como pudimos observar en pruebas y experiencias contadas por desarrolladores en esta plataforma.

En la figura 3.24 se puede observar la instrumentación para la medición del consumo de corriente y voltaje de la plataforma Raspberry Pi, podemos observar que la corriente consumida llega a 0,6 Amperios y 5.19 voltios.



Figura 3.24 Instrumentación de medición de consumo de potencia.

Con similar sentido la fuente de alimentación para el módulo de conmutación se considera implementar con una fuente de tipo conmutado de 5Voltios a 1Amperio.

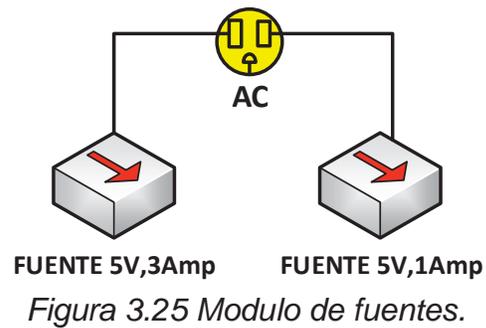


Figura 3.25 Modulo de fuentes.

Para la implementación de este módulo se considera dos fuentes conmutadas como se muestra en la tabla 3.14.

Tabla 3.14 Materiales para módulo de fuente de alimentación.

ITEM	MATERIAL	CANTIDAD
3.2.6.1	FUENTE CONMUTADA DE 5V a 3 Amp	1
3.2.6.2	FUENTE CONMUTADA DE 5V a 1 Amp	1

Finalmente podemos resumir el diseño del sistema de adquisición de datos en la figura 3.26, en el que se muestra los componentes en su forma modular y circuito integrado para una mejor descripción de los ingresos y puertos de salida de los componentes para su fácil implementación.

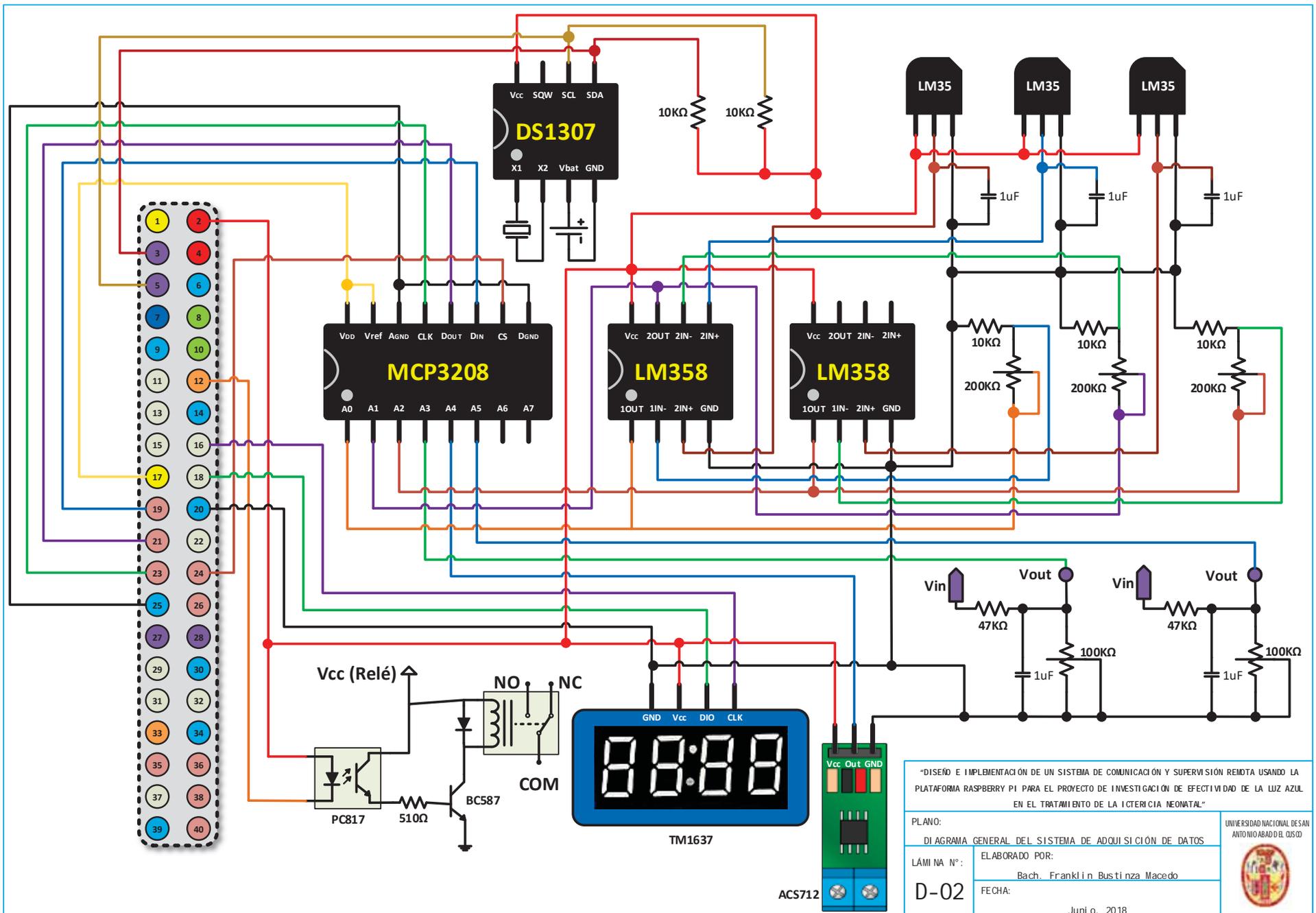


Figura 3.26 Diagrama general del sistema de adquisición y acondicionamiento de datos.

En el diagrama general que se muestra en la figura anterior se muestran resistencias variables para un mejor ajuste de las ganancias en el caso del acondicionador de señal de los sensores de temperatura y para un mejor ajuste del divisor de tensión de la señal de voltaje.

En la figura 3.27 se muestra un diagrama de conexión del sistema de conmutación, los sensores de voltaje, corriente y temperatura. Como se podrá observar en la imagen, el prototipo de investigación de fototerapia cuenta con dos tipos de fuente, una fuente que proviene de alimentación comercial y otra de energía solar regulada.

El puerto del Relé en modo de normalmente cerrado (NC) está conectado al polo positivo de la fuente solar, en modo normalmente abierto (NO) conectado al polo positivo de la fuente comercial y el común (COM) al polo positivo de la alimentación del prototipo de investigación en fototerapia. La conmutación se dará hacia la alimentación comercial cuando se detecte un voltaje umbral bajo de la alimentación solar y volverá a la alimentación solar cuando se detecte un voltaje umbral alto.

Por otro lado los sensores de temperatura están distribuidos de la siguiente forma:

- Temperatura 1 para tomar la temperatura ambiente.
- Temperatura 2 para tomar la temperatura del panel de LED inferior.
- Temperatura 3 para tomar la temperatura del panel de LED superior.

Como se muestra también se tienen dos sensores de voltaje una toma el voltaje de la carga o de la alimentación del prototipo de fototerapia, el otro toma voltaje de la fuente de alimentación solar para tomar acciones de conmutación.

El sensor de corriente toma el valor de la corriente de la fuente de alimentación del prototipo de fototerapia o la carga.

Para finalizar la etapa de diseño en la figura 3.28 se muestra un diagrama general de todo el sistema en el que se resume todos los componentes del sistema propuesto.



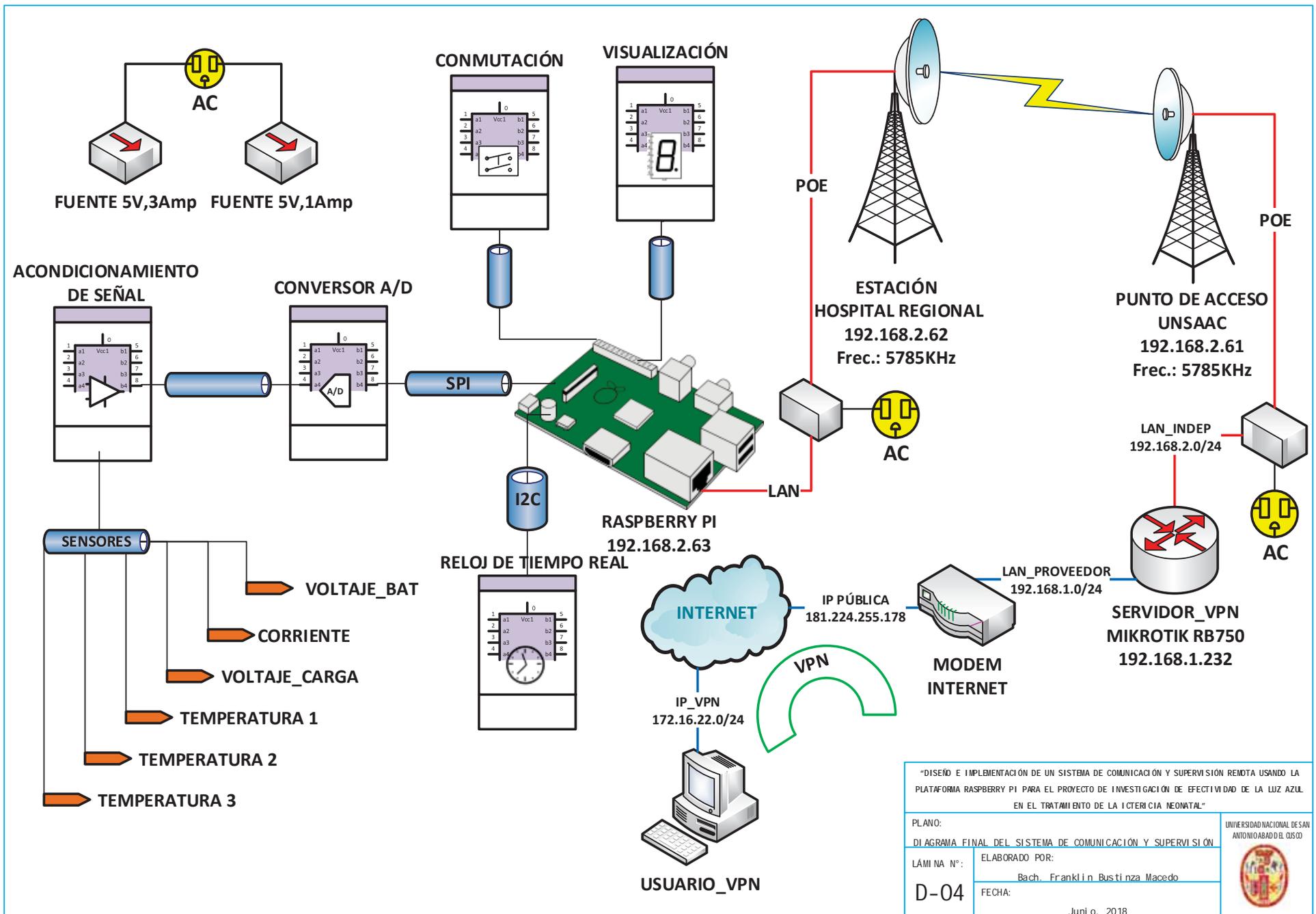


Figura 3.28 Diagrama completo del sistema de comunicación supervisión.

### **3.3 DISEÑO DEL SOFTWARE**

El código para la adquisición y visualización de datos se diseñaron de manera separada según el objetivo y recurso al que va dirigido. Los lenguajes de programación utilizados en el presente proyecto son: Python, Html y un lenguaje de consulta SQL. De los mencionados lenguajes de programación el lenguaje de programación Python fue utilizado para gestionar los puertos y módulos físicos de la plataforma Raspberry Pi, el lenguaje de programación Html básicamente fue utilizado para generar un entorno de visualización de datos en entorno Web y el lenguaje de consulta SQL para realizar consultas y reportes de una base de datos, este lenguaje de consulta desarrollado directamente en el código Python o Html.

Adicionalmente la plataforma Raspberry Pi trabaja con un sistema operativo basado en el sistema operativo Linux denominado RASPBEAN. La ventaja de trabajar con un sistema operativo Linux es la de brindar flexibilidad de la gestión de los periféricos de entrada y salida y en el caso de la plataforma Raspberry pi la disponibilidad de configuración de los periféricos de entrada y salida además del puerto GPIO.

#### **3.3.1 DISEÑO DE LOS CÓDIGOS**

Los códigos programados en los lenguajes de programación python y html están basados y divididos en los siguientes objetivos o cumplir con las siguientes funciones:

- ❖ Python

- a) Código 1: Que adquiera y almacene datos en una tabla de la base de datos Mysql denominada *Tabla 1*, el que se muestra en la figura 3.9, el tiempo de adquisición de dato en dato debe ser de un minuto, aplicando un filtro de FIR en el lapso del minuto de adquisición y sea almacenado en una tabla creada en la base de datos.
- b) Código 2: Que actualice y almacene datos cada 1 segundo en una tabla de la base de datos de Mysql denominada *Tabla 2*, el que se muestra en la figura 3.9, que a la vez, con el voltaje adquirido de la batería se realice una comparación con un voltaje umbral alto y un voltaje umbral bajo para generar una salida lógica alto y una salida lógica respectivamente.
- c) Código 3: Que realice la consulta y extraiga los datos actuales almacenados en la tabla 2 de la base de datos de Mysql, luego estos datos sean enviados al puerto GPIO y su posterior visualización en el módulo de visualización.
- d) Código 4: Que envíe información lógica a un pin del puerto GPIO para la activación del relé de conmutación de las fuentes del prototipo de fototerapia dicha instrucción enviados desde la plataforma Web.

#### ❖ HTML

- a) Código 5: Que genere el índice de la página web, donde se muestre un cuadro para ingresar datos del mes, día y hora. Adicionalmente que muestre dos botones que realicen acciones de consulta y exportación, por ultimo un enlace que nos envíe a la página de visualización de datos en tiempo real.

- b) Código 6: Que realice la consulta de los datos de la tabla 1 de la base de datos con los datos ingresados en la página de índice generado con el código 5 del ítem anterior y luego sean mostrados en una tabla.
- c) Código 7: Que realice la consulta a la tabla 2 de la base de datos y genere un reporte del último dato almacenado en la tabla mediante el código 2.
- d) Código 8: Que tome los datos generados con el código 7 y muestre los datos de temperatura en tiempo real, a la vez contenga dos botones para la conmutación de fuentes del prototipo de investigación en fototerapia.
- e) Código 9: Que realice la consulta a la tabla 1 de la base de datos y genere un archivo Excel con los datos ingresados en la página índice.
- f) Código 10: Que tome los datos generados con el código 7 y muestre los datos de voltaje y corriente en tiempo real, a la vez contenga dos botones para la conmutación de fuentes del prototipo de investigación en fototerapia.

La figura 3.29 muestra la estructura la interacción entre los códigos antes descritos.

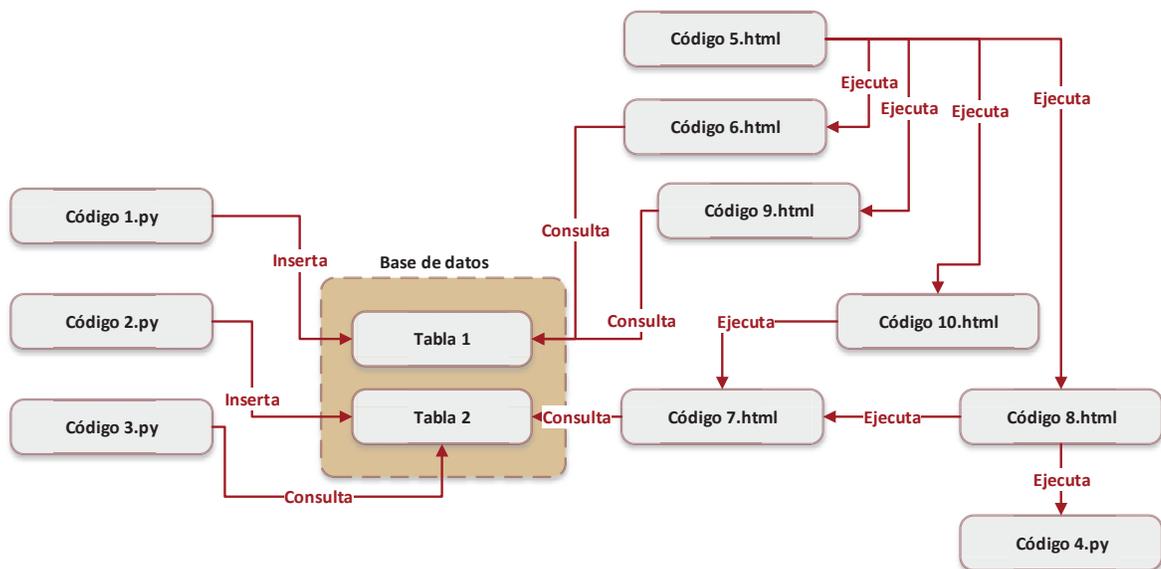


Figura 3.29 Diagrama de interacción de los códigos.

A continuación, describiremos cada Pseudocódigo mostrado en el diagrama.

### 3.3.1.1 Diagrama de Pseudocódigo del Código 1

El código 1 está escrito en el lenguaje de programación Python para adquirir mediante el conversor analógico digital y almacenar datos en la tabla 1 de la base de datos Mysql, el intervalo de tiempo de adquisición de cada dato debe ser de un minuto, aplicando un filtro de FIR (Media Average) dentro del lapso del minuto de adquisición, tiempo solicitado por el equipo de investigación como tiempo mínimo por cada muestra, luego para ser almacenado en una tabla creada en la base de datos el diagrama de pseudocódigo se muestra en la figura 3.30.

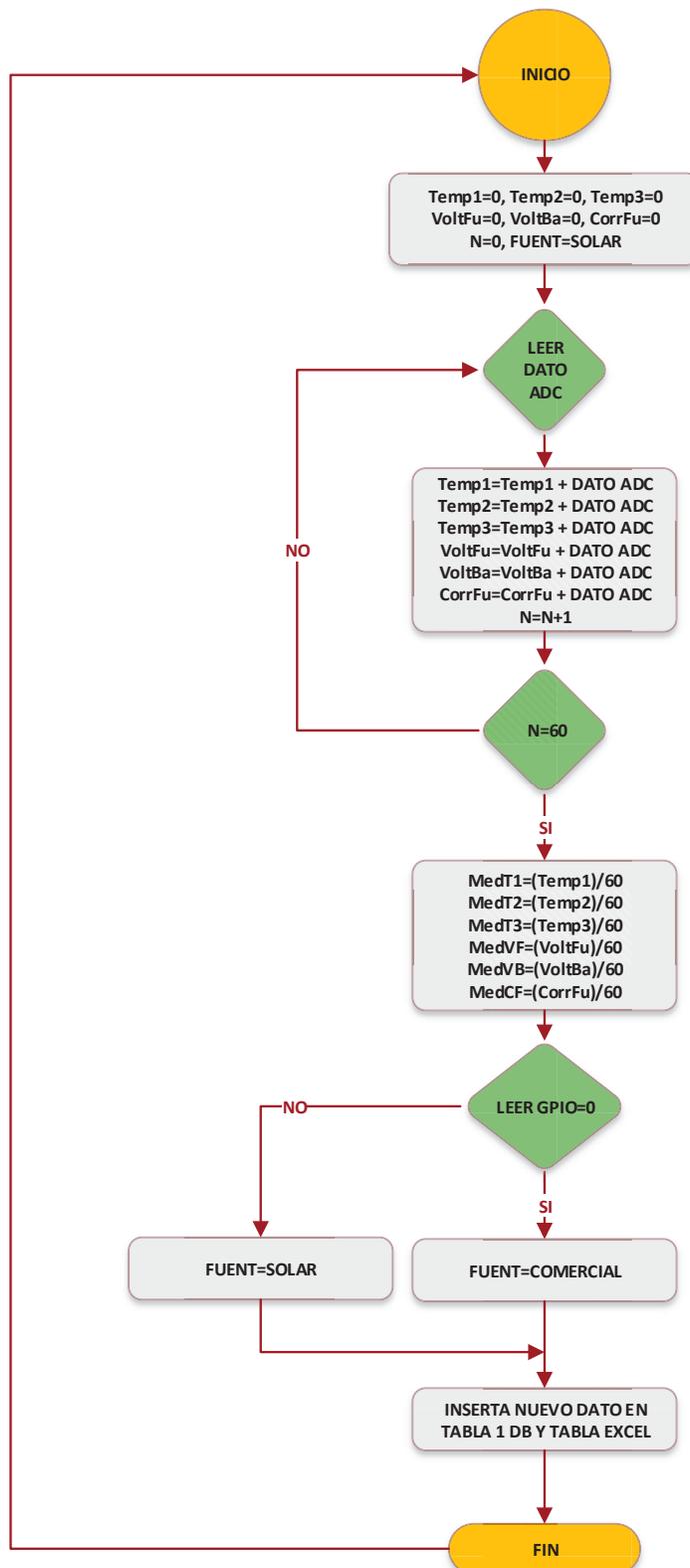


Figura 3.30 Código 1

### 3.3.1.2 Diagrama de Pseudocódigo del Código 2

Actualiza y almacena datos obtenidos del conversor analógico digital cada segundo en una tabla 2 de la base de datos de Mysql, este código genera información actualizada del último dato para generar reportes en tiempo real.

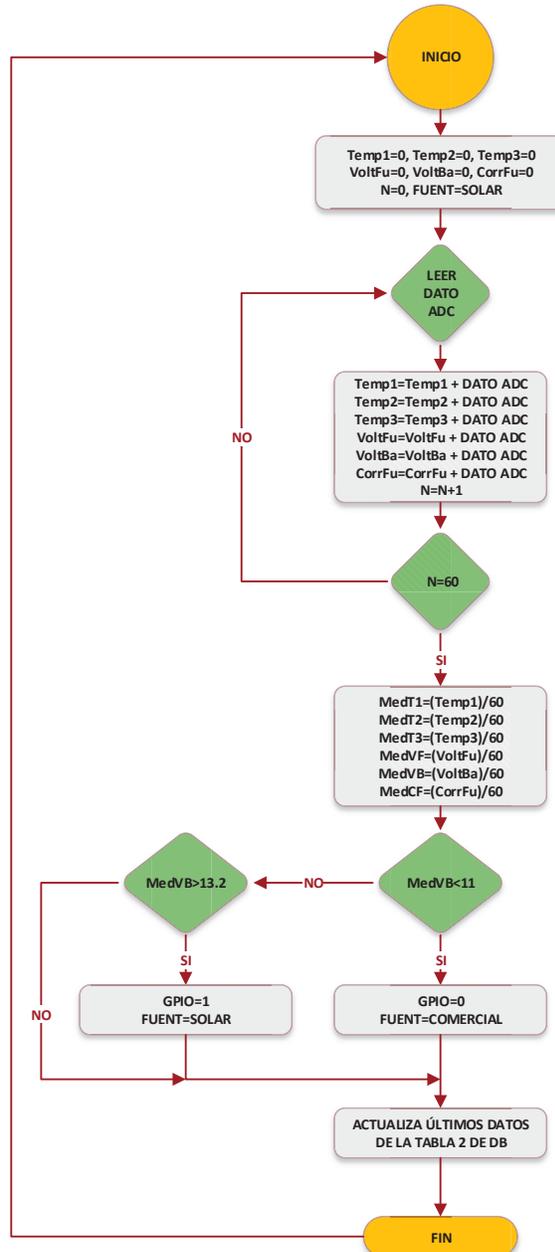


Figura 3.31 Código 2.

### 3.3.1.3 Diagrama de Pseudocódigo del Código 3

Realiza la consulta y extrae el último dato de temperatura almacenado en la tabla 2 de la base de datos de Mysql, estos datos son acondicionados luego ser enviados al módulo de visualización.

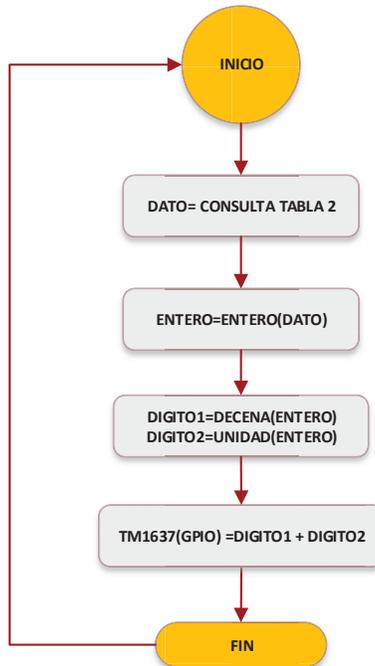


Figura 3.32 Código 3.

### 3.3.1.4 Diagrama de Pseudocódigo del Código 4

El código actúa con una instrucción enviada desde el código 10 enviando un 0 ó 1 a un Puerto GPIO para la acción del módulo de conmutación.

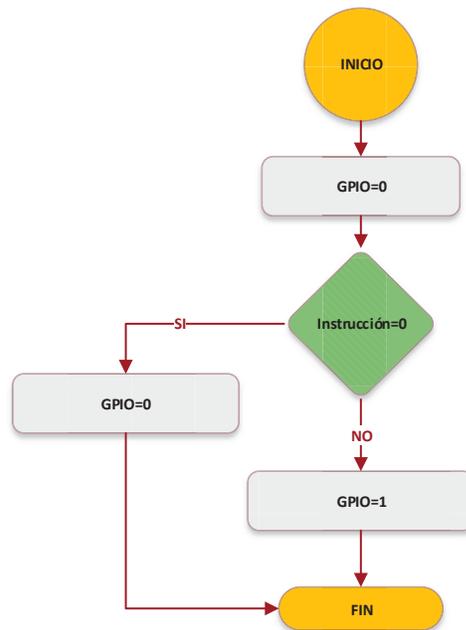


Figura 3.33 Código 4.

### 3.3.1.5 Diagrama de Pseudocódigo del Código 5

Genera el índice de la plataforma web, donde se muestra un cuadro para ingresar datos del mes, día, dos botones que realizan acciones de consulta y exportación, dos vínculos para mostrar datos de temperaturas y otro para datos de la fuente de alimentación en tiempo real.

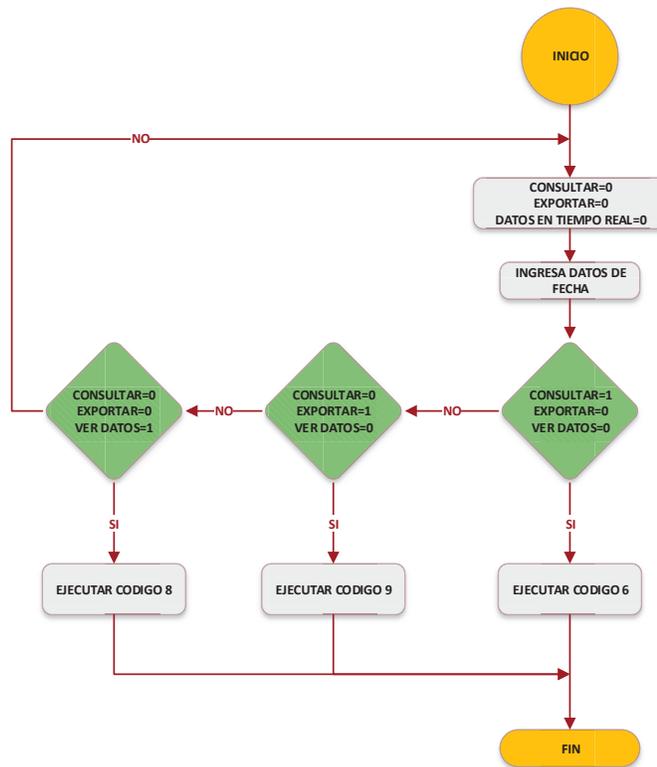


Figura 3.34 Código 5.

### 3.3.1.6 Diagrama de Pseudocódigo del Código 6

Realiza la consulta de los datos de la tabla 1 de la base de datos con los datos ingresados en la página de índice generado con el código 5 del ítem anterior y luego sean mostrados en una tabla.

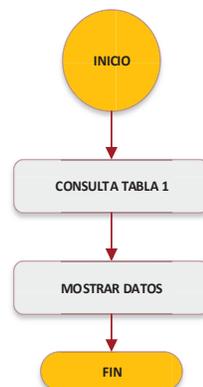


Figura 3.35 Código 6.

### 3.3.1.7 Diagrama de Pseudocódigo del Código 7

Realiza la consulta a la tabla 2 de la base de datos y genera un reporte en un archivo JSON del último dato de temperaturas o corriente y voltaje según sea el caso que con los códigos 8 y 10 se generen. El código 8 genera el caso 1 y el código 10 genera el caso 2.

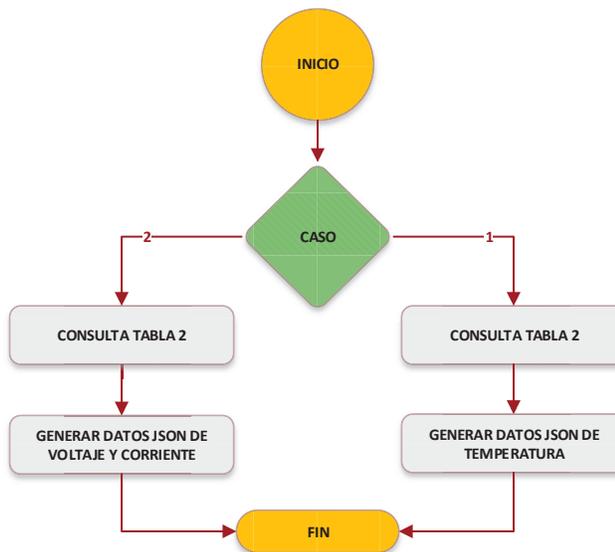


Figura 3.36 Código 7

### 3.3.1.8 Diagrama de Pseudocódigo del Código 8

Toma los datos generados con el código 7 y muestra los datos de temperaturas en tiempo real.



Figura 3.37 Código 8.

### 3.3.1.9 Diagrama de Pseudocódigo del Código 9

Realiza la consulta a la tabla 1 de la base de datos y genera un archivo Excel con los datos ingresados en la página índice.



Figura 3.38 Código 9.

### 3.3.1.10 Diagrama de Pseudocódigo del Código 10

El código 10 toma los datos generados con el código 7 y muestra los datos de voltaje y corriente en tiempo real. También acciona el módulo de conmutación ejecutando el código 4.

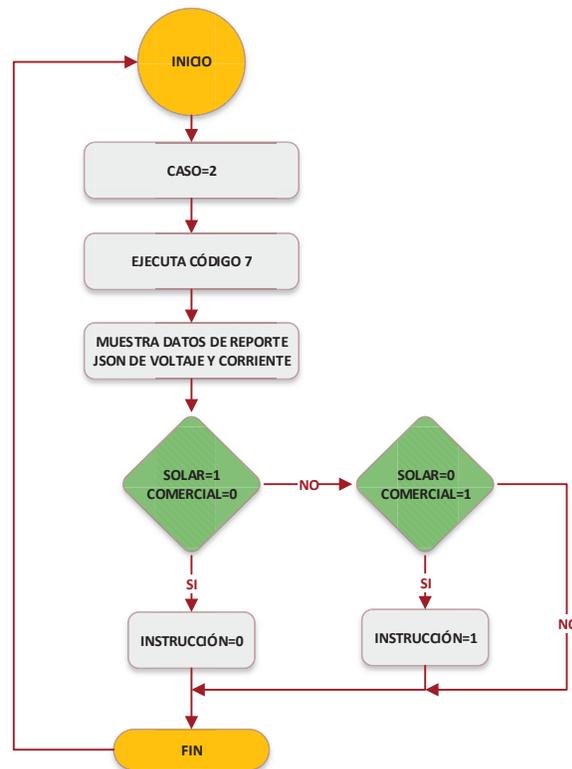


Figura 3.39 Código 10.

Para la implementación del diseño de software solo serán necesarias las plataformas de programación como son Python, Html y de consulta con Mysql que vienen o se pueden instalar gratuitamente en la plataforma Raspberry Pi por lo tanto consideraremos como materiales para que sean implementados los pseudocódigos únicamente la plataforma Raspberry Pi mostrado en la tabla 3.15.

Tabla 3.15 Materiales para implementación de códigos.

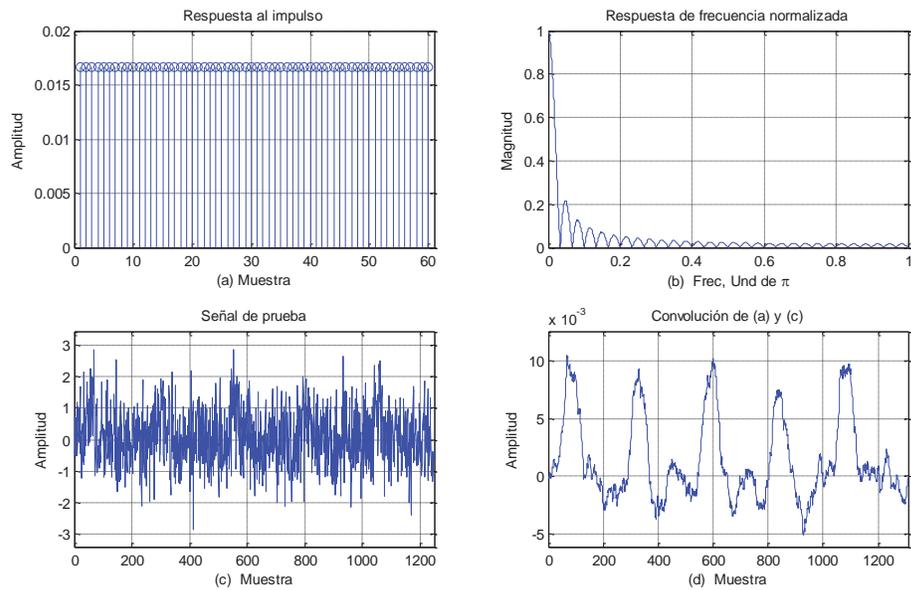
ITEM	MATERIAL	CANTIDAD
4.3.1	RASPBERRY PI 3	1

### **3.3.2 DISEÑO DE FILTRO FIR MEDIA MOVIL**

En la etapa de pruebas de la adquisición se percibe la presencia de ruido en la señal de los sensores y sobre todo en los datos de temperatura, por tanto, se decide aplicar un filtro para mejorar la calidad de la señal de los sensores.

Para lograr cumplir con lo planteado en el anterior párrafo se decide usar un filtro FIR del tipo MEDIA MOVIL, debido a su implementación sencilla comparada, en principio, con los demás filtros digitales y por consiguiente con los diferentes tipos de filtros análogos. Luego, las características de respuesta frecuencia del filtro FIR y la frecuencia de las señales también se hacen adecuadas para la implementación de éste filtro.

Para el diseño del filtro de Media Móvil se realizó un código en la plataforma de programación Matlab, el cual nos permite visualizar la respuesta en frecuencia de la señal de respuesta al impulso y posterior convolución con una señal de prueba las que se pueden mostrar en la figura 3.40. El código para la implementación de esta simulación se puede observar en el anexo 3.



*Figura 3.40 Análisis del filtro FIR MEDIA MÓVIL*

En la figura 3.40 se muestra (a) la respuesta a impulso de la señal de Media Móvil con una amplitud igual a  $1/N$ , donde  $N=60$ , luego se muestra (b) la señal de respuesta en frecuencia normalizada de la señal (a) de respuesta al impulso, con esta señal de respuesta al impulso se realiza la convolución con la señal de prueba (c) para dar resultado a la señal (d) que como se puede observar es una señal filtrada de ruido y las frecuencias no deseadas. En el código 1 se realiza el filtro de promedio móvil haciendo suma sucesiva de las últimas 60 muestras por cada minuto. La señal de prueba mostrada en la figura 3.40 (c), es una señal que se genera a partir de una señal coherente de cinco pulsos rectangulares sobre 1024 muestras teniendo cada muestra una amplitud de 1 y un ancho de 20 muestras, mezclado con una señal aleatoria de ruido blanco<sup>20</sup>

<sup>20</sup> DSP for MATLAB and LabVIEW Volume III: Digital Filter Design, Forester W. Isen, Editorial Morgan & Claypool Publishers, 2009

## CAPITULO IV

### IMPLEMENTACIÓN

#### **4.1 IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN**

El sistema de comunicación se implementó con dos equipos de radioenlace de los cuales uno de ellos fue instalado y configurado como punto de acceso en la Universidad de San Antonio Abad del Cusco, en la torre de la biblioteca central y el segundo equipo fue instalado y configurado como estación en el Hospital Regional del Cusco. Una vez se finalizó la implementación del sistema de radioenlaces se implementa el diseño del servicio VPN.

##### **4.1.1 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE RADIOENLACE**

El punto de acceso de la UNSAAC mencionado en el párrafo anterior inicialmente fue instalado en la torre de la Biblioteca central, posteriormente trasladado a la torre del pabellón de la carrera profesional de ingeniería electrónica.

En la figura 4.1 se muestra los trabajos realizados para la instalación del punto de acceso de la UNSAAC.



*Figura 4.1 Implementación del Punto de Acceso UNSAAC.*

La configuración del punto de acceso de la UNSAAC se realizó de acuerdo y con los datos del diseño se muestran en la tabla 4.1.

*Tabla 4.1 Parámetros de implementación punto de acceso UNSAAC.*  
**CARACTERÍSTICAS DEL PUNTO DE ACCESO UNSAAC**

<b>PARÁMETRO</b>	<b>VALOR</b>	
<b>PUNTO DE ACESO UNSAAC</b>	Latitud	-13,52114
	Longitud	-71,95679
	Altitud	3350 m
	Ganancia de antena	22 dBi
	Altura de torre	20m
	Azimut	152,71°
	Elevación	-2,51°
	Dirección IP	192.168.2.61
	Mascara	255.255.255.0
	Puerta de enlace	192.168.2.1
<b>Distancia entre puntos</b>	0,306 Km	
<b>Potencia de Tx</b>	18 dB	
<b>Frecuencia</b>	5785GHz	
<b>EIRP (Potencia Isotrópica Radiada Efectiva)</b>	1 Watt	

Con estos datos se configuró en el entorno web de configuración del equipo de radioenlace como se puede observar en la figura 4.2 y 4.3.

**Configuración Inalámbrica Básica**

Modo inalámbrico:

WDS (Modo Puente Transparente):  Habilitar

SSID:   Ocultar SSID

Código de País:

Modo IEEE 802.11:

Ancho del canal:

Movimiento de canal:

Frecuencia, MHz:

Extensión de Canal:

Lista de Frecuencias, MHz:  Habilitar

Ajustar automáticamente el límite de EIRP:  Habilitar

Antena:

Potencia de salida:  dBm

Data Rate Module:

Máxima Tasa de Transmisión (Tx), Mbps:   Automático

*Figura 4.2 Configuración inalámbrica.*

**Rol de la red**

Modo de red:

Desactivar red:

**Modo de Configuración**

Modo de Configuración:

**Configuración de Administración de red**

Dirección IP de Administración:  DHCP  Estática

Dirección IP:

Máscara de red:

IP de la Puerta de Acceso:

IP del DNS principal:

IP DNS Secundario:

MTU:

VLAN de Administración:  Habilitar

IP aliasing automático:  Habilitar

STP:  Habilitar

*Figura 4.3 Configuración de red.*

La estación del Hospital Regional se instaló en el techo provisionado de un mástil de comunicaciones existente el cual fue direccionado al punto de acceso de la UNSAAC como se muestra en la figura 4.4.



Figura 4.4 Implementación de Estación Base Hospital regional.

Del mismo modo la configuración se realiza con los datos del diseño previo del sistema de radioenlace mostrados en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2 Parámetros de implementación de la estación hospital regional.

<b>CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE RADIOENLACE</b>		
<b>PARÁMETRO</b>	<b>VALOR</b>	
<b>ESTACIÓN HOSPITAL REGIONAL</b>	Latitud	-13,52114
	Longitud	-71,95679
	Altitud	3350 m
	Ganancia de antena	22 dBi
	Altura de torre	20m
	Azimut	152,71°
	Elevación	-2,51°
	Dirección IP	192.168.2.62
	Mascara	255.255.255.0
	Puerta de enlace	192.168.2.1
<b>Distancia entre puntos</b>	0,306 Km	
<b>Potencia de Tx</b>	18 dB	
<b>Frecuencia</b>	5785GHz	
<b>EIRP (Potencia Isotrópica Radiada Efectiva)</b>	1 Watt	

Tomando los datos de diseño se configura la estación del Hospital Regional.

Configuración Inalámbrica Básica

Modo inalámbrico: Estación

WDS (Modo Puente Transparente):  Habilitar

SSID: DC9FAA Seleccione...

Fijar a la MAC del Punto de Acceso: 24:A4:3C:62:CC:69

Código de País: United States

Modo IEEE 802.11: A/N mixed

Ancho del canal [?]: 20 MHz

Movimiento de canal [?]: Desactivar

Lista de Frecuencias a escanear, MHz:  Habilitar 5785 Editar...

Ajustar automáticamente el límite de EIRP:  Habilitar

Antena: 300 - 22 dBi

Potencia de salida: 18 dBm

Data Rate Module: Default

Máxima Tasa de Transmisión (Tx), Mbps: MCS 15 - 130  Automático

Figura 4.5 Configuración de parámetros inalámbricos

Rol de la red

Modo de red: Puente (Bridge)

Desactivar red: None

Modo de Configuración: Simple

Configuración de Administración de red

Dirección IP de Administración:  DHCP  Estática

Dirección IP: 192.168.2.62

Máscara de red: 255.255.255.0

IP de la Puerta de Acceso: 192.168.2.1

IP del DNS principal: 8.8.8.8

IP DNS Secundario: 8.8.4.4

MTU: 1500

VLAN de Administración:  Habilitar

IP aliasing automático:  Habilitar

STP:  Habilitar

Figura 4.6 Configuración de red.

#### 4.1.2 IMPLEMENTACIÓN DEL SERVICIO VPN

De acuerdo al diseño realizado se realizan las configuraciones del servicio VPN teniendo como servidor VPN al equipo RB750 de MIKROTIK el cual fue configurado en el software de configuración WinBox de la siguiente forma:

1. La interface *ether1-wan* es configurado como entrada o salida a Internet y la interface *ether2* para la red independiente, en este caso conectado directamente al inyector PoE del equipo de radioenlace configurado como punto de acceso en la UNSAAC cómo se puede observar en la siguiente figura 4.7.

Interface	Name	Type	Actual MTU	L2 MTU	Tx	Rx	Tx Packet (p/s)	Rx Packet (p/s)	FP T
R	ether1-wan	Ethernet	1500	1598	59.5 kbps	5.1 kbps	9	6	
R	ether2	Ethernet	1500	1598	512 bps	1312 bps	1	2	
	ether3	Ethernet	1500	1598	0 bps	0 bps	0	0	
	ether4	Ethernet	1500	1598	0 bps	0 bps	0	0	
	ether5	Ethernet	1500	1598	0 bps	0 bps	0	0	
R	ppp-out1	PPTP Client	1450			960 bps	0	3	

Figura 4.7 Configuración de interfaces.

2. Se asigna una dirección o rango de IP para cada interface 192.168.1.232 para el interface *ether1-wan* y 192.168.2.1/24 para la interface *ether1* de la siguiente forma:

Address <192.168.1.232/24>

Address: 192.168.1.232/24

Network: 192.168.1.0

Interface: ether1-wan

OK Cancel Apply

Address <192.168.2.1/24>

Address: 192.168.2.1/24

Network: 192.168.2.0

Interface: ether2

OK Cancel Apply

Figura 4.8 Configuración de segmentos de red para cada interface.

3. El rango de IP 192.168.2.0/24 del interface ether1 debe hacer un NAT (Network Address Translation) para intercambio de paquetes con la red de IP 192.168.1.0/24 del interface ether1-wan y por tanto el acceso a internet.

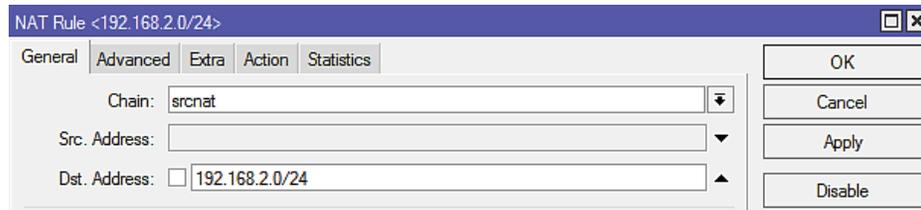


Figura 4.9 NAT para el segmento 129.168.2.0/24

- Para culminar con la configuración de las interfaces y rutas de salida asignamos la ruta para la salida a internet mediante la puerta de enlace 192.168.1.1.

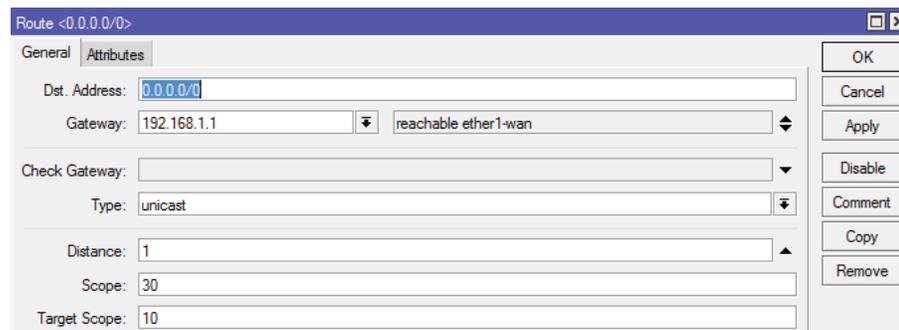


Figura 4.10 Configuración de ruta de salida a internet.

- En este paso se da inicio a la configuración del servicio VPN, habilitamos los servicios de túnel PPTP, SSTP y L2TP.

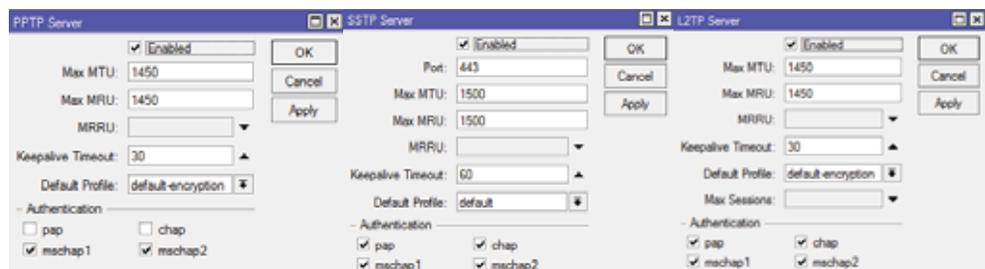


Figura 4.11 Habilitación de servicio de tunneling para la red VPN

6. Luego se configura un perfil VPN donde se inserta el segmento de dirección IP con la que se asignará al cliente o usuario VPN.

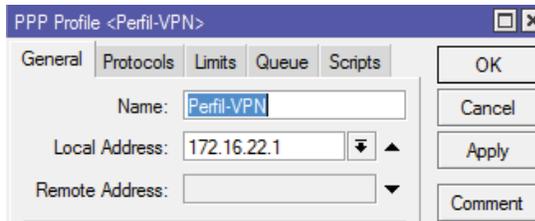


Figura 4.12 Configuración de perfil VPN y segmento de IP para usuario VPN.

7. Para el acceso del Usuario se crea un usuario, contraseña y una dirección que se le asignará una dirección IP al finalizar la autenticación, con el perfil "Perfil-VPN" creado en el anterior ítem.

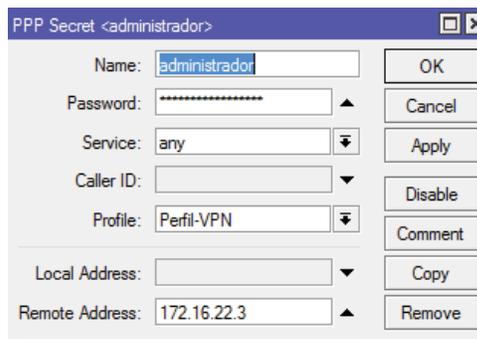


Figura 4.13 Configuración de usuario, contraseña y dirección IP de usuario de VPN.

La instalación física se puede observar en la siguiente figura 4.14.



Figura 4.14 Instalación del servidor VPN MIKROTIK RB750.

## 4.2 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN

La implementación del sistema de adquisición de datos se realiza placas de circuito impreso para el circuito de los módulos de acondicionamiento de señal analógica, el conversor analógico digital, el acondicionador de voltajes y el reloj de tiempo real, los otros módulos, módulo de visualización, conmutación y el sensor de temperatura, como ya se mencionan en el diseño son módulos que ya adquirieron en circuitos de placas impresas con las mismas características de diseño o las que recomienda las hojas de datos de cada componente.

En la figura 4.15 muestra el esquemático del circuito de acondicionamiento de señal analógica de los tres sensores de temperatura, el acondicionamiento de las señales de voltaje y el conversor analógico digital, según los diseños realizados.

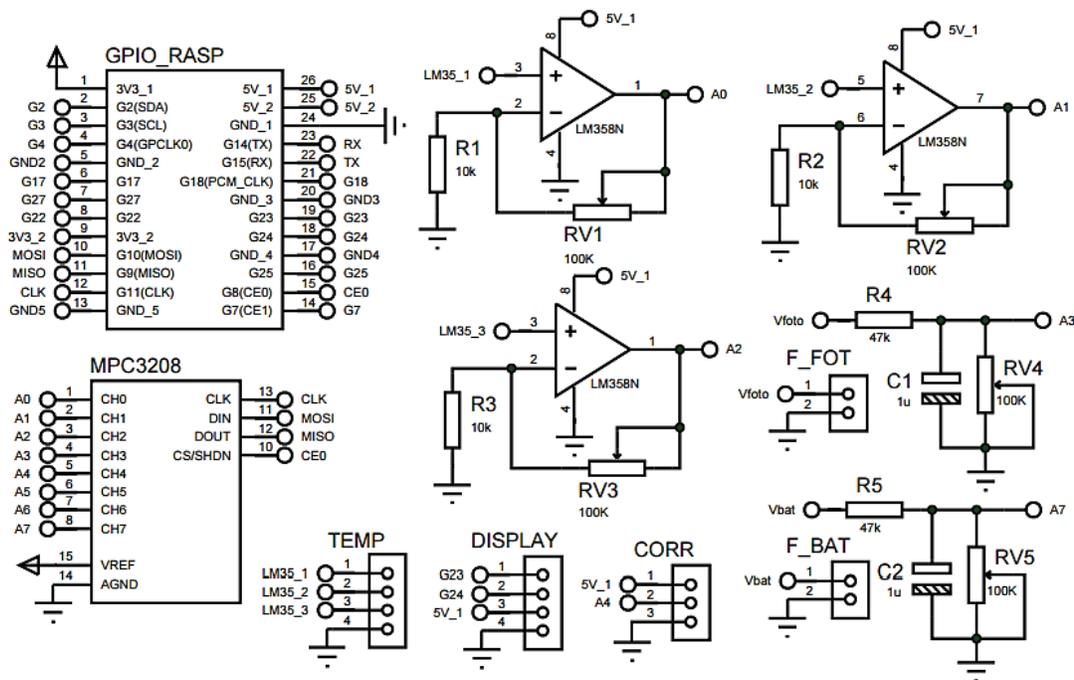


Figura 4.15 Circuito de acondicionamiento de señal de temperatura, voltaje y conversor analógico digital

En la figura 4.16 se muestra el diseño de la placa de circuito impreso.

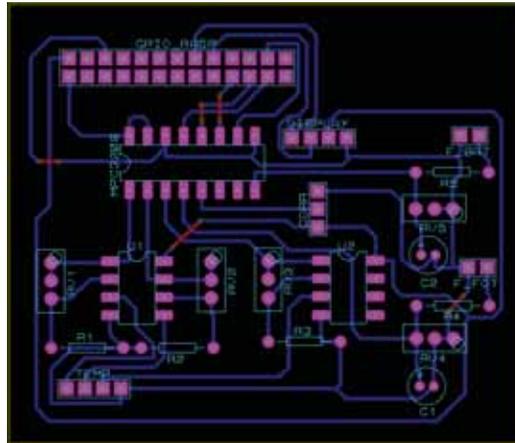


Figura 4.16 Circuito impreso del circuito de acondicionamiento y ADC.

Para el caso del reloj de tiempo real se implementa con el mismo diseño planteado, el esquemático y el diseño de circuito impreso se muestran en la figura 4.17.

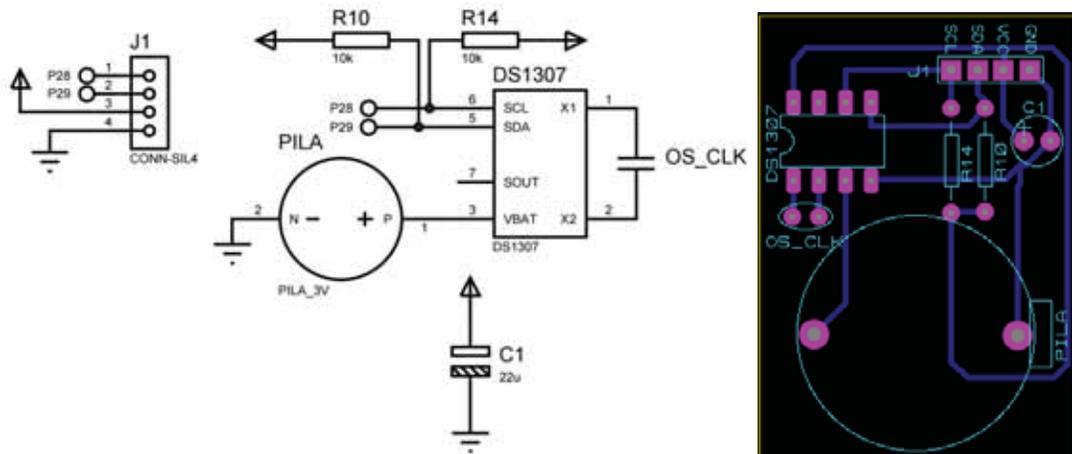


Figura 4.17 Diagrama de circuito y circuito impreso del reloj en tiempo real.

Una vez realizados las placas de circuito se unió los módulos junto con las fuentes de alimentación en un contenedor como se puede observar en la figura 4.18.



*Figura 4.18 Sistema de adquisición de datos implementado.*

### **4.3 IMPLEMENTACIÓN DEL SOFTWARE**

Una vez acondicionado los módulos de hardware se procedió a la implementación de los pseudocódigos diseñados y también las configuraciones básicas iniciales que requiere la plataforma Raspberry Pi.

#### **4.3.1 CONFIGURACIONES DE LA PLATAFORMA RASPBERRY PI**

##### **4.3.1.1 INSTALACIÓN DEL SISTEMA OPERATIVO RASPBIAN**

Raspbian se instala como muchas otras distribuciones y sistemas operativos para la plataforma Raspberry Pi, para tal fin se utiliza un programa para cargar un archivo .img en una tarjeta de memoria SD que después insertaremos en la plataforma Raspberry Pi.

## A. DESCARGAR EL SISTEMA OPERATIVO RASPBAN

Primero se descarga la última versión de Raspbian desde el sitio web de Raspberry Pi que se puede encontrar en la siguiente dirección:

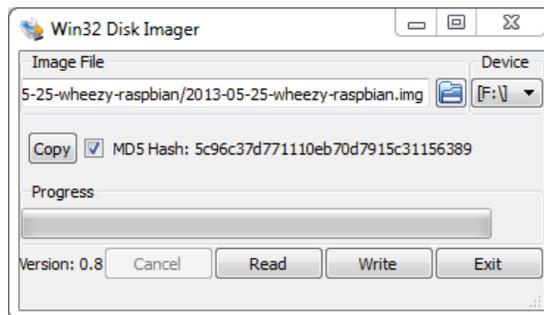
<http://www.raspberrypi.org/downloads>.

## B. CARGAR EL ARCHIVO .IMG EN LA MEMORIA SD

Se procede a cargar el archivo .img con un programa para esto, existen varias aplicaciones para este fin, en este caso como se carga desde Windows se utiliza el programa Win32 Disk Imager que puedes descargar desde la siguiente dirección:

<http://sourceforge.net/projects/win32diskimager/>

Al ejecutar la aplicación Win32 Disk Imager se visualiza el entorno que se muestra en la figura 4.19:



*Figura 4.19 Aplicación para cargar el sistema operativo en memoria SD*

Se selecciona el archivo .img en “Image File” y la unidad donde está la tarjeta SD en “Device”. Después se pulsa el botón “Write” para comenzar con la carga del sistema en la tarjeta SD.

Con esto se finaliza la instalación del sistema operativo en la memoria SD.

### 4.3.1.2 CONFIGURACIONES INICIALES

Encendemos la plataforma Raspberry Pi con la memoria SD instalada y esperamos a que termine de cargar y luego se puede observar en pantalla una ventana similar a la que se muestra en la figura 4.20:

```
##### Raspberry Pi Software Configuration Tool (raspi-config) #####
1 Expand Filesystem          Ensures that all of the SD card storage is available
2 Change User Password       Change password for the default user (pi)
3 Boot Options               Choose whether to boot into a desktop environment
4 Wait for Network at Boot   Choose whether to wait for network connection during boot
5 Internationalisation Options Set up language and regional settings to match your location
6 Enable Camera              Enable this Pi to work with the Raspberry Pi Camera Module
7 Add to Rastrack            Add this Pi to the online Raspberry Pi Map (Raspberrypi.org)
8 Overclock                  Configure overclocking for your Pi
9 Advanced Options           Configure advanced settings
0 About raspi-config         Information about this configuration tool

<Select>                    <Finish>
```

Figura 4.20 Opciones de configuración de Raspberry Pi.

Aquí podemos encontrar varias opciones importantes a la hora de realizar la configuración inicial de nuestro Raspbian en nuestro Raspberry Pi. Que se describen de la siguiente forma:

- 1. Expand Filesystem: Expande el tamaño de la partición de almacenamiento del sistema hasta el tamaño total de la tarjeta SD donde está instalado.
- 2. Change User Password: Permite cambiar la contraseña por defecto de Raspbian, la contraseña por defecto para el usuario “pi” es “raspberrypi”.
- 3. Enable Boot to Desktop: Permite habilitar el inicio del escritorio al arrancar el dispositivo.

- 4. Internationalisation Options: Permite cambiar las opciones regionales y de idioma de Raspbian.
- 5. Enable Camera: Permite activar la cámara de Raspberry Pi en caso de tenerla conectada.
- 6. Add to Rastrack: Permite añadir tu dispositivo Raspberry al registro de Rasperrys de la comunidad.
- 7. Overclock: Permite configurar el overclock del procesador de nuestro dispositivo Raspberry Pi. La fundación Raspberry permite realizarle un overclock moderado al procesador de forma segura sin peligro de quemar el dispositivo.
- 8. Advanced Options: Ofrece algunas opciones añadidas a la configuración de nuestro Raspberry Pi, explico con más detalle más abajo.
- 9. About raspi-config: Muestra información acerca del asistente que estas utilizando en este preciso instante para configurar Raspberry Pi.

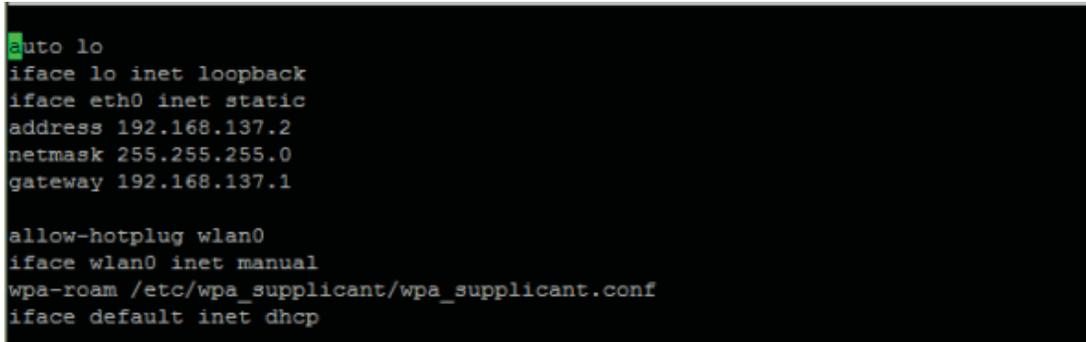
Para el caso de este proyecto no se realiza ningún cambio de la configuración por defecto y se finaliza el proceso de configuración mostrándonos posteriormente la línea de comando del sistema operativo Linux.

#### **4.3.1.3 CONFIGURACIÓN DE IP ESTÁTICA DEL PUERTO LAN**

El entorno de configuración se accede ingresando a la línea de comando de Linux y escribiendo el siguiente comando:

```
sudo nano /etc/network/interfaces
```

Una vez ingresado al entorno de configuración del puerto LAN se modifica en la 3ra columna dhcp por static y asignar la dirección IP estática al dispositivo. Como ejemplo se muestra la figura 4.21.



```
auto lo
iface lo inet loopback
iface eth0 inet static
address 192.168.137.2
netmask 255.255.255.0
gateway 192.168.137.1

allow-hotplug wlan0
iface wlan0 inet manual
wpa-roam /etc/wpa_supplicant/wpa_supplicant.conf
iface default inet dhcp
```

*Figura 4.21 Entorno de configuración del puerto Ethernet.*

Una vez haya realiza las modificaciones se presiona *Ctrl+X* y luego *S* y enter para guardar las modificaciones hechas en el archivo y se procede a reiniciar el Raspberry Pi para que los nuevos cambios hagan efecto. Para esto se ingresa el siguiente comando:

```
sudo reboot
```

#### **4.3.1.4 CONFIGURAR E INSTALAR CONTROLADOR DE PUERTO SPI**

Primero se habilita el puerto SPI de le la siguiente manera escribiendo el siguiente comando:

```
sudo raspi-config
```

a) Seleccionar la opción **8 Advanced Options**

- b) Seleccionar la opción **A6 SPI**
- c) Seleccionar **YES** cuando nos pide si queremos habilitar la interfaz SPI
- d) Damos enter en **OK**
- e) Seleccionar **YES** en la siguiente ventana
- f) Por ultimo seleccionamos **OK** y **Finish**
- g) Reiniciamos nuestra Raspberry para que el módulo SPI quede activado.

Seguidamente se instala los módulos para trabajar con el puerto SPI, para esto es necesario instalar el módulo 'python-dev' mediante el siguiente comando:

```
sudo apt-get install python2.7-dev
```

Ahora que la interfaz SPI se encuentra habilitada se procede a instalar las librerías correspondientes para Python versión 2 y 3.

En el terminal se ejecuta los siguientes comandos:

```
Wget-https://github.com/Gadgetoid/py-pi-dev/archive/master.zip  
unzip master.zip  
rm master.zip  
cd py-spi-dev-master  
sudo python setup.py install  
sudo python3 setup.py install  
cd ..
```

Con esto el módulo para utilizar el puerto SPI del Raspberry Pi con python se encuentra instalada y así poder comunicarlo con tarjetas y dispositivos SPI a través de Python 2 y 3.

#### **4.3.1.5 INSTALAR SERVIDOR WEB: APACHE, PHP y MySQL**

a) PRIMER PASO.- Actualizar el instalador de aplicativos:

```
sudo apt-get update
```

b) SEGUNDO PASO.- Instalar mysql-server, mysql-client y python-mysql

```
sudo apt-get install mysql-server mysql-client
```

```
sudo apt-get install python-pip
```

```
apt-get install python-mysqldb
```

```
sudo pip install requests
```

```
sudo pip install pymysql
```

c) TERCER PASO.- Acceder a la base de datos:

```
mysql -u root -p
```

d) CUARTO PASO.- Instalar PHP

```
sudo apt-get install php5 php5-mysql
```

e) QUINTO PASO.- Reiniciar servidor web:

```
sudo service apache2 restart
```

f) SEXTO PASO.- Comprobar estado del servidor:

```
sudo service apache2 status
```

De esta manera concluimos con la configuración y configuración de los módulos de plataforma Raspberry Pi. Ahora se procede a implementar los códigos.

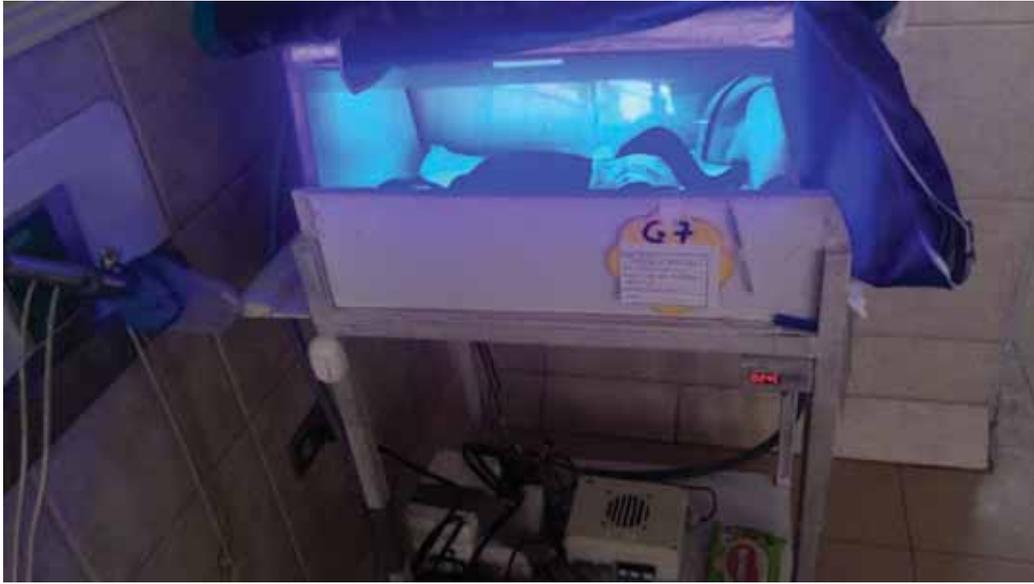
Los códigos diseñados se implementan con la misma numeración del diseño desde el código 1 hasta el código 10 los cuales podemos observar en el anexo 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13.

Una vez implementado todos los componentes del sistema de adquisición de datos y los códigos diseñados se realizaron pruebas del sistema en un prototipo de fototerapia similar al que se instalado en el hospital regional como se puede observar en la siguiente figura:



*Figura 4.22 Pruebas del sistema de adquisición de datos en laboratorio.*

Finalmente, después de las pruebas de funcionamiento se logra instalar el sistema de adquisición de datos en las instalaciones del Hospital regional, en cuidados intermedios del área de neonatología. En la figura 4.23 podemos apreciar el sistema en funcionamiento cuyos resultados se mostraran en el siguiente capítulo.



*Figura 4.23 Instalación del sistema de adquisición de datos en cuna de fototerapia en el hospital Regional.*

EL presupuesto y cronograma de implementación se especifican en los anexos 1 y

2.

# CAPITULO V

## RESULTADOS

### 5.1 RESULTADOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE RADIOENLACES

La implementación del diseño del sistema de radioenlace se realiza con éxito, lo que nos permite tener valores de CCQ (Calidad de Conexión del Cliente) de transmisión de 91.3% del punto de acceso, que es un valor en porcentaje que muestra la eficacia del uso del ancho de banda, se utiliza en relación con el ancho de banda teórico máximo disponible, como se puede observar en la figura 5.1.

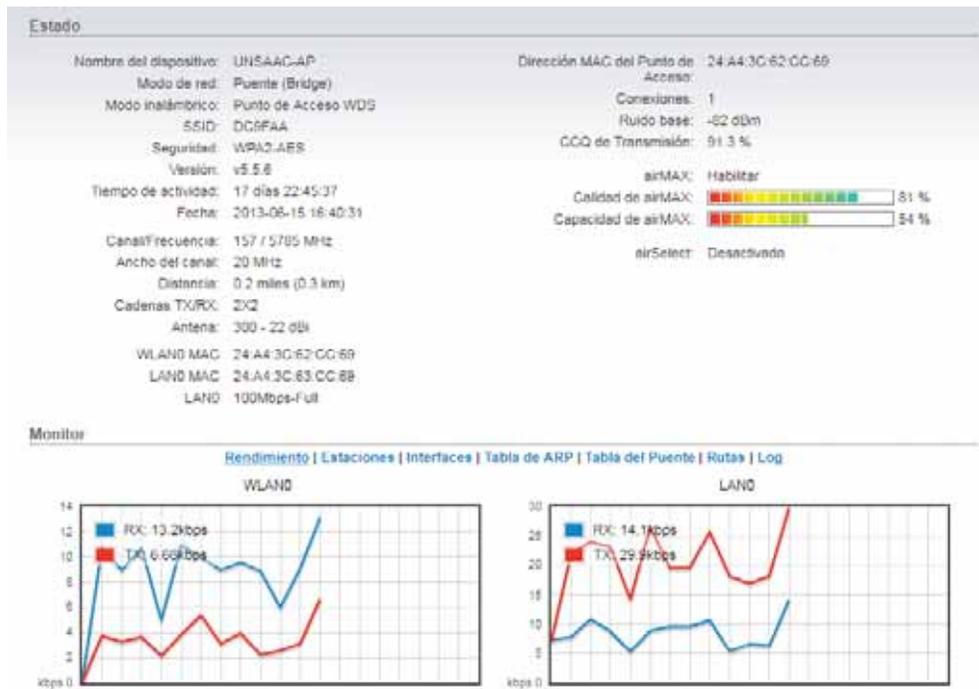


Figura 5.1 Resultado de configuración del Punto de acceso UNSAAC.

En el equipo estación del hospital regional se puede observar la intensidad de señal a -65 dBm con un CCQ de transmisión de 87.2% y una tasa de transmisión y recepción de 78 Mbps, como se puede observar en la figura 5.2.

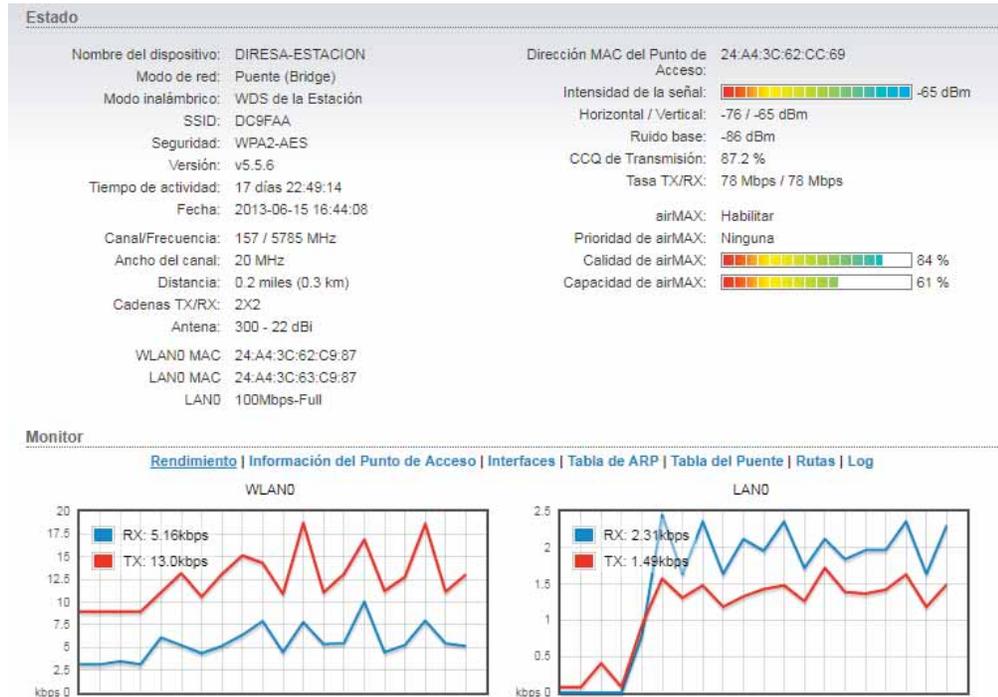


Figura 5.2 Resultado de configuración de la estación del hospital regional.

## 5.2 RESULTADOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA RED VPN

En el sistema de servicio VPN se realizaron configuraciones previas del lado del usuario, los cuales se realizaron de la siguiente manera:

- 1) Se configuró un área de trabajo vía servicio VPN, como se muestra en la siguiente figura:

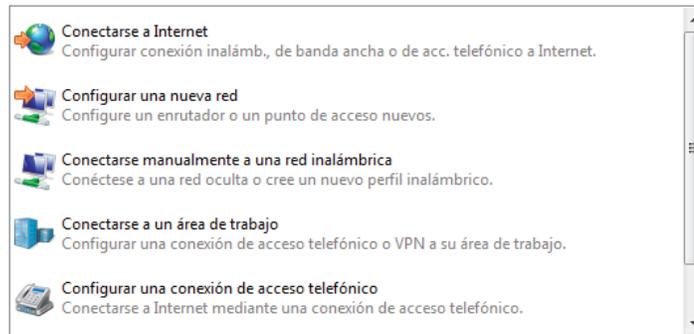


Figura 5.3 Cuadro de opciones de conexión de nueva red.

- 2) Se eligió la conexión a internet mediante VPN como podemos observar en la siguiente figura:



Figura 5.4 Opción de conexión mediante servicio VPN.

- 3) Se ingresó la IP pública de la red donde se encuentra el servidor VPN, y un nombre para la red VPN como se puede observar en la siguiente figura:

El administrador de red puede darle esta dirección.

Dirección de Internet:

Nombre de destino:

Figura 5.5 Configuración de la dirección pública y nombre de la red VPN.

- 4) Finalmente ingresamos el usuario y contraseña creados en el servidor VPN como se muestra en la siguiente figura:

Nombre de usuario:

Contraseña:

Figura 5.6 Ingreso del usuario y contraseña del servicio VPN.

Finalizado estas configuraciones tenemos la conexión a la red VPN configurada con el nombre de VPN\_FOTOTERAPIA, que lo podemos observar en la siguiente figura:

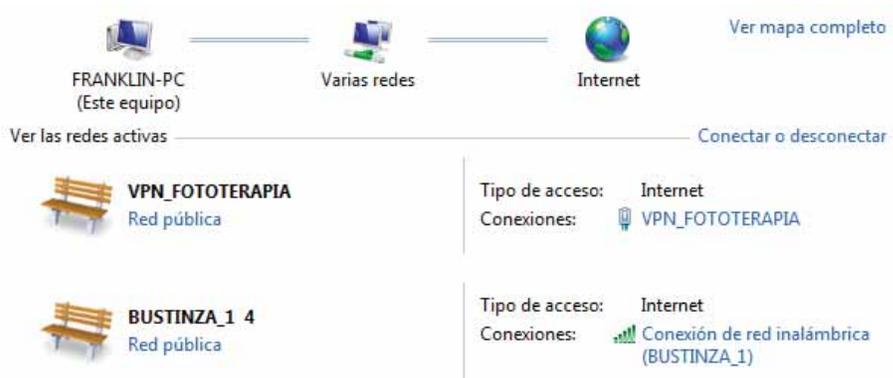


Figura 5.7 Conexión exitosa a la red VPN\_FOTOTERAPIA.

Una vez lograda la conexión a la red VPN el servidor VPN asigna una dirección IP que en este caso es 172.16.22.3, como se muestra en la siguiente figura:

```

Adaptador PPP UPN_FOTOTERAPIA:
    Sufijo DNS específico para la conexión. . . :
    Dirección IPv4. . . . . : 172.16.22.3
    Máscara de subred . . . . . : 255.255.255.255
    Puerta de enlace predeterminada . . . . . : 0.0.0.0

Adaptador de LAN inalámbrica Conexión de red inalámbrica:
    Sufijo DNS específico para la conexión. . . : hitronhub.home
    Vínculo: dirección IPv6 local. . . : fe80::8199:b05c:486c:39cb%11
    Dirección IPv4. . . . . : 192.168.1.5
    Máscara de subred . . . . . : 255.255.255.0
    Puerta de enlace predeterminada . . . . . : 192.168.1.1
  
```

Figura 5.8 Comprobación de asignación de dirección IP de la red VPN.

### 5.3 RESULTADOS DE LA CONECTIVIDAD CON CADA ELEMENTO DE LA RED LOCAL

Luego se realizó la comprobación de conectividad a las direcciones IP de cada equipo de la red LAN independiente implementados para nuestros objetivos los cuales son las de segmento 192.168.2.0/24. De la red LAN se comprobaron las direcciones: 192.168.2.61, 192.168.2.62 y 192.168.2.63 que pertenecen al punto de acceso de la UNSAAC, la estación DIRESA y la plataforma Raspberry Pi respectivamente las cuales se muestran en las siguientes figuras:

```
C:\Users\FRANKLIN>ping 192.168.2.61

Haciendo ping a 192.168.2.61 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.2.61: bytes=32 tiempo=110ms TTL=63
Respuesta desde 192.168.2.61: bytes=32 tiempo=70ms TTL=63
Respuesta desde 192.168.2.61: bytes=32 tiempo=79ms TTL=63
Respuesta desde 192.168.2.61: bytes=32 tiempo=91ms TTL=63

Estadísticas de ping para 192.168.2.61:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
              (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
        Mínimo = 70ms, Máximo = 110ms, Media = 87ms
```

Figura 5.9 Prueba de conexión al 192.168.2.61 (Punto de acceso UNSAAC)

```
C:\Users\FRANKLIN>ping 192.168.2.62

Haciendo ping a 192.168.2.62 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.2.62: bytes=32 tiempo=86ms TTL=63
Respuesta desde 192.168.2.62: bytes=32 tiempo=90ms TTL=63
Respuesta desde 192.168.2.62: bytes=32 tiempo=88ms TTL=63
Respuesta desde 192.168.2.62: bytes=32 tiempo=86ms TTL=63

Estadísticas de ping para 192.168.2.62:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
              (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
        Mínimo = 86ms, Máximo = 90ms, Media = 87ms
```

Figura 5.10 Prueba de conexión al 192.168.2.62 (Estación DIRESA)

```
C:\Users\FRANKLIN>ping 192.168.2.63
Haciendo ping a 192.168.2.63 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.2.63: bytes=32 tiempo=79ms TTL=63
Respuesta desde 192.168.2.63: bytes=32 tiempo=81ms TTL=63
Respuesta desde 192.168.2.63: bytes=32 tiempo=106ms TTL=63
Respuesta desde 192.168.2.63: bytes=32 tiempo=78ms TTL=63

Estadísticas de ping para 192.168.2.63:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
    (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
    Mínimo = 78ms, Máximo = 106ms, Media = 86ms
```

Figura 5.11 Prueba de conexión al 192.168.2.63 (Raspberry Pi)

## 5.4 RESULTADOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL FILTRO FIR MEDIA MOVIL

Como resultado de implementación del filtro FIR MEDIA MOVIL diseñados se muestra la figura 5.12 donde se grafica la señal sin filtro y la señal con filtro.

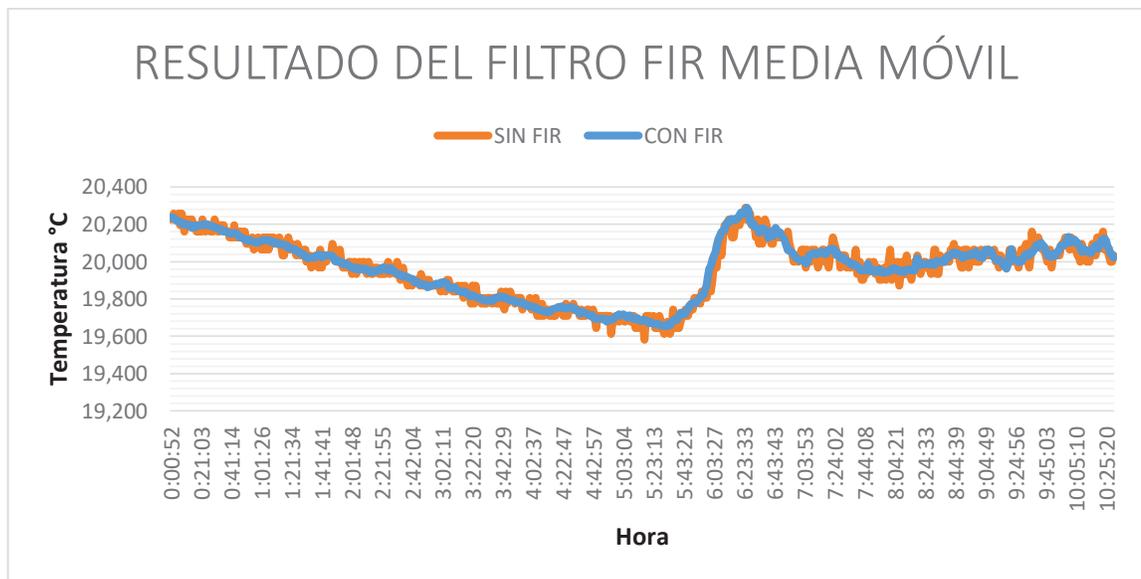


Figura 5.12 Resultado de aplicación del filtro Media Móvil, Señal sin filtro y señal filtrada

Se puede observar claramente la mejora de la señal al ser aplicada el filtro FIR MEDIA MÓVIL, el filtro también fue aplicado en la adquisición de la señal para ser

almacenado en una tabla que es actualizada cada segundo para luego ser mostrado en la página web en tiempo real y en el hardware de visualización.

## 5.5 RESULTADOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS CÓDIGOS

De la misma forma se genera otra tabla con el código 1 que aplica y almacena los datos cada 1 minuto, la cual es consultada en un entorno web que se muestra en la figura 5.13 y al elegir la opción de consultar nos muestra un reporte gráfico de los datos de temperatura como se muestra en la figura 5.14.

The image shows a web interface for 'FOTOTERAPIA HOSPITAL REGIONAL'. At the top, there is a logo for 'INGENIERIA ELECTRONICA U N S A A C' featuring a blue brain icon. Below the logo, the title 'FOTOTERAPIA HOSPITAL REGIONAL' is displayed. The main area contains a login form with the following fields: 'Mes' (Month) with a dropdown menu showing '01', 'Dia' (Day) with a dropdown menu showing '01', 'Hora' (Hour) with a dropdown menu showing '01', 'Usuario' (Username) with the text 'root', and 'Clave' (Password) with a masked input field. Below these fields are two buttons: 'Consultar' (Consult) and 'Exportar' (Export). At the bottom of the form, there is a section titled 'DATOS EN TIEMPO REAL' (Real-time data) with two buttons: 'Temperatura actual' (Current temperature) and 'Alimentacion actual' (Current feeding).

*Figura 5.13 Página índice de ingreso de datos para consulta de tabla y exportación de datos.*

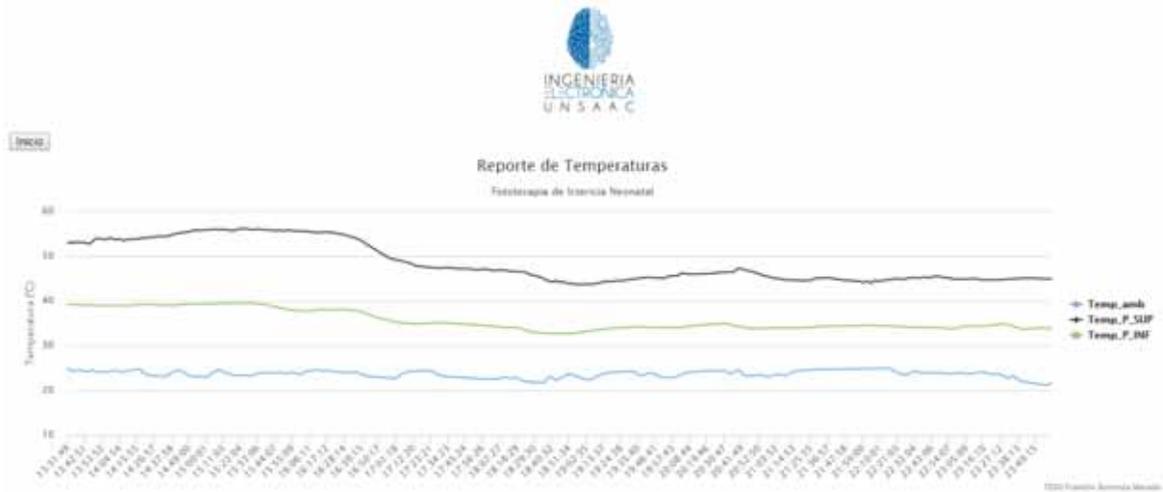


Figura 5.14 Página que muestra los datos consultados.

La acción del botón de *Temperatura actual* nos lleva a la página donde se muestran las temperaturas en tiempo real como se puede observar en la figura 5.15.

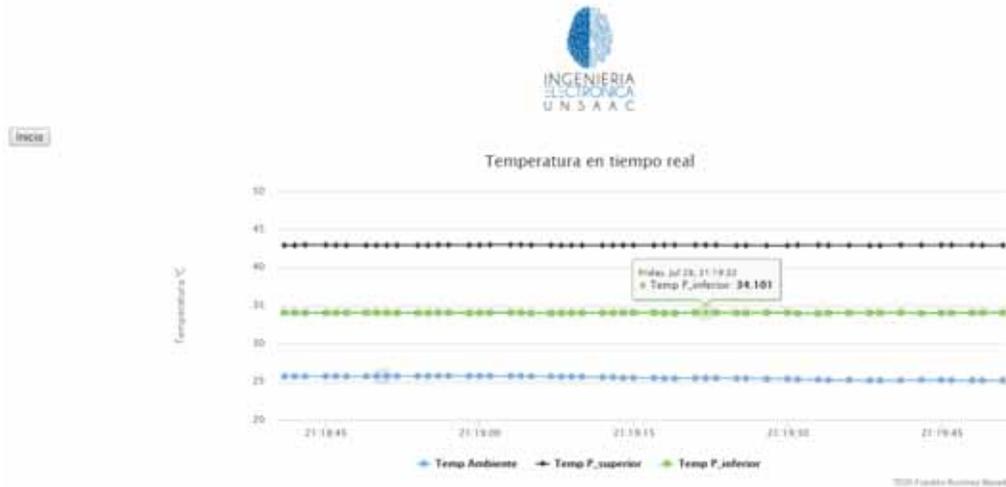


Figura 5.15 Temperaturas en tiempo real.

La acción del botón de *Alimentación actual* nos lleva a la página donde se muestran el voltaje, la corriente y el tipo de fuente de alimentación del prototipo de fototerapia en tiempo real el cual se puede observar en la figura 5.16.



*Figura 5.16 Consumo de energía en tiempo real.*

Finalmente, la herramienta de exportación de los datos a un archivo de hoja de cálculos, tenemos como resultado los datos en el formato de archivo Excel con múltiples posibilidades de post-procesamiento de los datos por parte del equipo de investigación como se puede observar en la figura 5.17. De esta forma se cumple con proveer de otra herramienta que ayudará en los objetivos de investigación del proyecto de fototerapia.

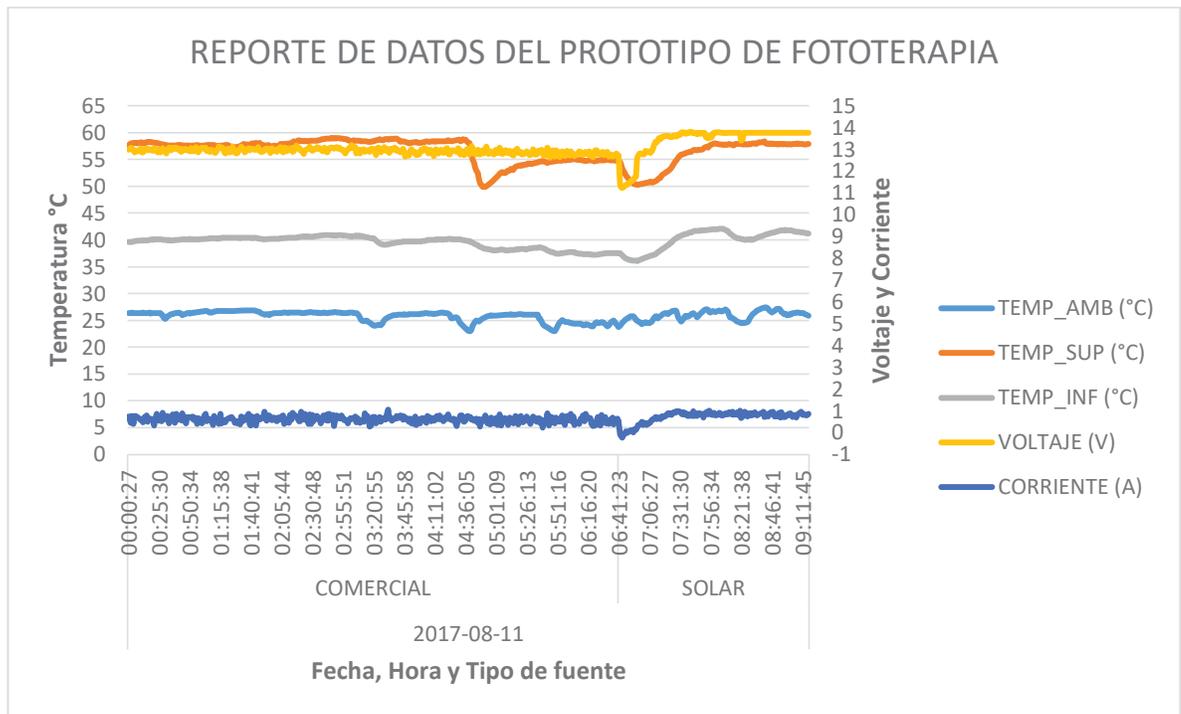


Figura 5.17 Gráfico del reporte de datos en archivo Excel.

## 5.6 RESULTADOS DE LA VALIDACIÓN DE LAS MEDICIONES

Como etapa final se realizaron mediciones de temperatura, voltaje corriente con equipos calibrados para luego ser comparados con los datos de medidos con los sistemas implementados con la plataforma Raspberry Pi.

En la tabla 5.1 se muestra las características de los equipos de medición usados.

Tabla 5.1 Características de los equipos de medición

VOLTÍMETRO	
MODELO:	AM-140-A
MARCA:	AMPROBE
EXACTITUD:	0.03% + 2D

<b>AMPERÍMETRO</b>	
<b>MODELO:</b>	AM-140-A
<b>MARCA:</b>	AMPROBE
<b>EXACTITUD:</b>	0.1% + 30D
<b>MEDIDOR DE TEMPERATURA</b>	
<b>MODELO:</b>	FLUKE-2-II
<b>MARCA:</b>	FLUKE
<b>EXACTITUD:</b>	0.05% + 0.3°C

El método usado para el cálculo del error de medición es mediante el cálculo de la desviación estándar, cuyo cálculo se realiza con la siguiente fórmula:

$$S(X_i) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}_i)^2}$$

Según la fórmula anterior se deberá realizar el cálculo del promedio de las correcciones o diferencia entre el valor de medición del Patrón y la medición del prototipo implementado.

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

A continuación se describe las mediciones y correspondientes desviaciones estándar de cada parámetro medido.

#### **a) Medición de temperatura panel superior de LEDs**

En la tabla 5.2 observaremos los datos de medición para temperaturas del panel superior de LEDs.

Tabla 5.1 Muestras de temperatura de panel superior de LEDs

Nº	Patrón (°C)	Prototipo (°C)	Corrección (°C)
1	50.1	49.353	0.747
2	50.1	49.37	0.73
3	50.2	49.424	0.776
4	48.3	48.224	0.076
5	47.4	47.514	-0.114
6	45.5	45.568	-0.068
7	44.6	44.626	-0.026
8	43.5	43.691	-0.191
9	42.6	42.68	-0.08
10	41.5	41.667	-0.167
11	40.8	40.871	-0.071
12	39.6	39.729	-0.129
13	39.4	39.501	-0.101
<b>PROMEDIO (<math>\bar{X}</math>)</b>			<b>0.106307692</b>

En la figura 5.18 se muestra las gráficas de las mediciones de temperatura en el panel superior de LEDs lo que nos permite apreciar la linealidad de las mediciones del prototipo comparada con el patrón de medición.

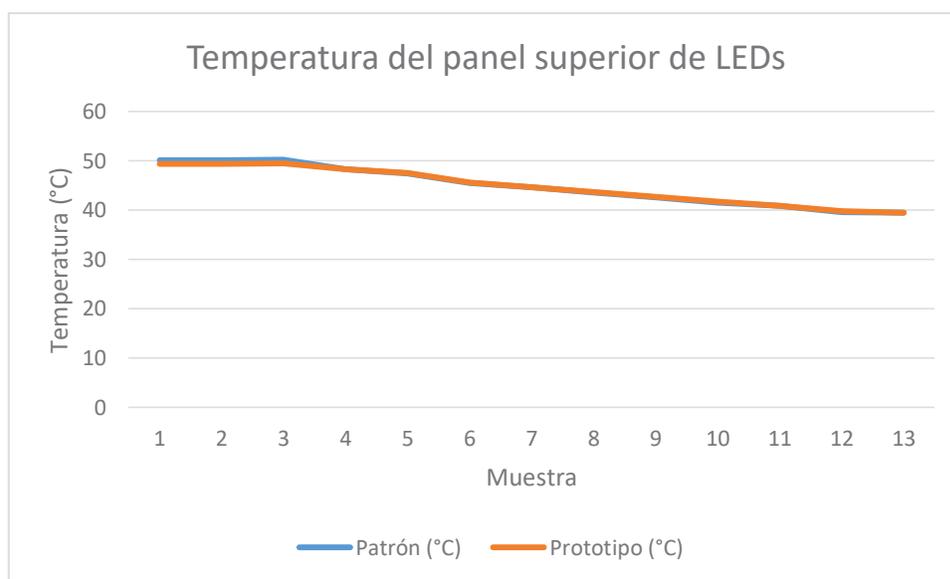


Figura 5.18 Gráfico mediciones de temperatura del panel superior de LEDs

En la tabla 5.3 se muestra los cálculos para obtener la desviación estándar que vendrá a ser la incertidumbre de los datos de medición.

*Tabla 5.2 Cálculos para la desviación estándar*

$X_i - \bar{X}_i$	$(X_i - \bar{X}_i)^2$
0.64069231	0.410486633
0.62369231	0.388992095
0.66969231	0.448487787
0.076	0.005776
-0.114	0.012996
-0.068	0.004624
-0.026	0.000676
-0.191	0.036481
-0.08	0.0064
-0.167	0.027889
-0.071	0.005041
-0.23530769	0.05536971
-0.20730769	0.042976479
<b>SUMA</b>	<b>1.446195704</b>
<b>SUMA/(n-1)</b>	<b>0.120516309</b>

$$S(X_i) = 0.347154589$$

Por tanto la incertidumbre vendrá representada por la desviación estándar cuyo valor es 0.347 °C.

### **Medición de temperatura del panel inferior**

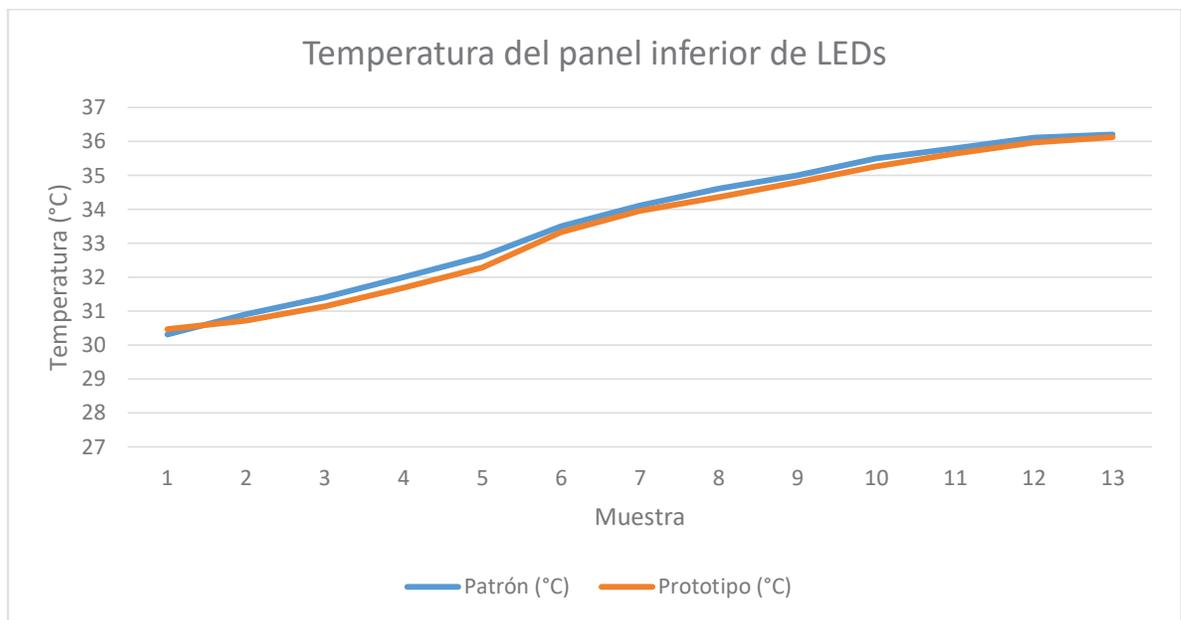
En la tabla 5.4 observaremos los datos de medición para temperaturas del panel inferior de LEDs.

*Tabla 5.3 Muestras de temperatura de panel inferior de LEDs*

<b>Nº</b>	<b>Patrón (°C)</b>	<b>Prototipo (°C)</b>	<b>Corrección (°C)</b>
<b>1</b>	30.3	30.462	-0.162
<b>2</b>	30.9	30.716	0.184
<b>3</b>	31.4	31.14	0.26

<b>4</b>	32	31.68	0.32
<b>5</b>	32.6	32.269	0.331
<b>6</b>	33.5	33.321	0.179
<b>7</b>	34.1	33.955	0.145
<b>8</b>	34.6	34.361	0.239
<b>9</b>	35	34.793	0.207
<b>10</b>	35.5	35.26	0.24
<b>11</b>	35.8	35.635	0.165
<b>12</b>	36.1	35.96	0.14
<b>13</b>	36.2	36.127	0.073
<b>PROMEDIO (<math>\bar{X}</math>)</b>			<b>0.178538462</b>

En la figura 5.19 se muestra las gráficas de las mediciones de temperatura en el panel inferior de LEDs lo que nos permite apreciar la linealidad de las mediciones del prototipo comparada con el patrón de medición.



*Figura 5.19 Gráfico mediciones de temperatura del panel inferior de LEDs*

En la tabla 5.5 se muestra los cálculos para obtener la desviación estándar que vendrá a ser la incertidumbre de los datos de medición.

Tabla 5.4 Cálculos para la desviación estándar

$X_i - \bar{X}_i$	$(X_i - \bar{X}_i)^2$
-0.34053846	0.115966444
0.00546154	2.98284E-05
0.08146154	0.006635982
0.32	0.1024
0.331	0.109561
0.179	0.032041
0.145	0.021025
0.239	0.057121
0.207	0.042849
0.24	0.0576
0.165	0.027225
-0.03853846	0.001485213
-0.10553846	0.011138367
<b>SUMA</b>	<b>0.585077834</b>
<b>SUMA/(n-1)</b>	<b>0.048756486</b>

$$S(X_i) = 0.22080871$$

Por tanto la incertidumbre vendrá representada por la desviación estándar cuyo valor es 0.22 °C.

### Medición de temperatura ambiente

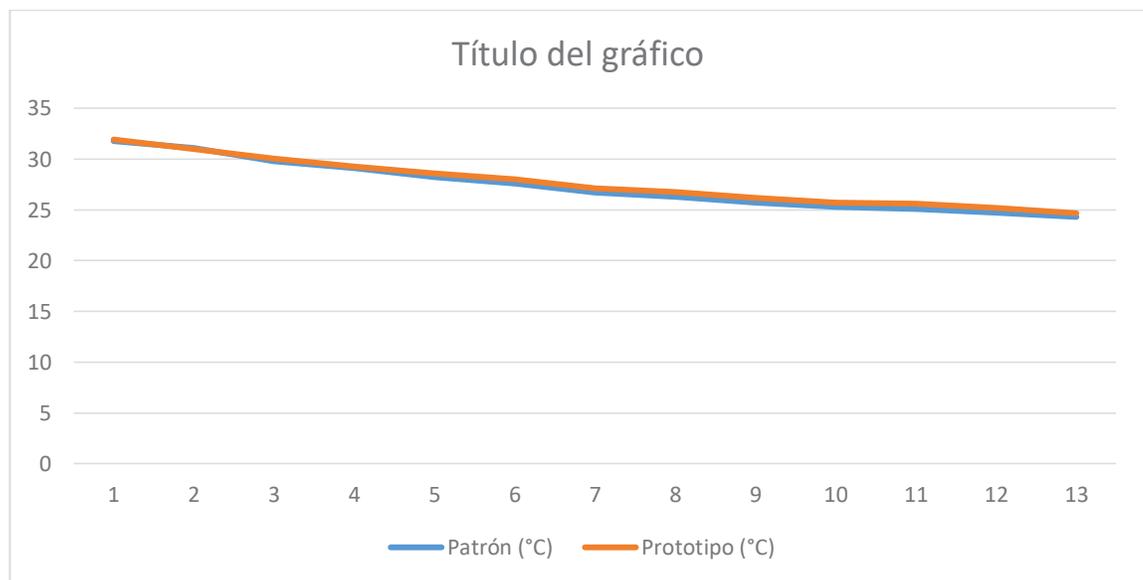
En la tabla 5.6 observaremos los datos de medición para temperaturas ambiente.

Tabla 5.5 Muestras de temperatura ambiente

Nº	Patrón (°C)	Prototipo (°C)	Corrección (°C)
1	31.8	31.931	-0.131
2	31.1	31.017	0.083
3	29.8	30.073	-0.273
4	29.1	29.258	-0.158
5	28.2	28.576	-0.376
6	27.6	28.009	-0.409
7	26.7	27.137	-0.437
8	26.3	26.774	-0.474
9	25.7	26.176	-0.476

<b>10</b>	25.3	25.736	-0.436
<b>11</b>	25.1	25.596	-0.496
<b>12</b>	24.7	25.189	-0.489
<b>13</b>	24.3	24.669	-0.369
<b>PROMEDIO (<math>\bar{X}</math>)</b>			<b>-0.341615385</b>

En la figura 5.20 se muestra las gráficas de las mediciones de temperatura ambiente lo que nos permite apreciar la linealidad de las mediciones del prototipo comparada con el patrón de medición.



*Figura 5.20 Gráfico mediciones de temperatura ambiente*

En la tabla 5.7 se muestra los cálculos para obtener la desviación estándar que vendrá a ser la incertidumbre de los datos de medición.

*Tabla 5.6 Cálculos para la desviación estándar*

$X_i - \bar{X}_i$	$(X_i - \bar{X}_i)^2$
0.21061538	0.04435884
0.42461538	0.180298225
0.06861538	0.004708071

-0.158	0.024964
-0.376	0.141376
-0.409	0.167281
-0.437	0.190969
-0.474	0.224676
-0.476	0.226576
-0.436	0.190096
-0.496	0.246016
-0.14738462	0.021722225
-0.02738462	0.000749917
SUMA	1.663791278
SUMA/(n-1)	0.138649273

$$S(X_i) = 0.372356379$$

Por tanto la incertidumbre vendrá representada por la desviación estándar cuyo valor es 0.37 °C.

### b) Mediciones de voltaje

En la tabla 5.8 observaremos los datos de medición para el voltaje de alimentación.

*Tabla 5.7 Muestras de voltaje de alimentación de paneles*

Nº	Patrón (V)	Prototipo (V)	Corrección (V)
1	1.956	2.004	-0.048
2	2.162	2.219	-0.057
3	2.641	2.705	-0.064
4	3.242	3.31	-0.068
5	3.708	3.782	-0.074
6	4.132	4.204	-0.072
7	4.428	4.504	-0.076
8	5.421	5.509	-0.088
9	5.718	5.809	-0.091
10	6.115	6.21	-0.095
11	6.51	6.6	-0.09
12	6.909	7.009	-0.1
13	7.304	7.404	-0.1
14	7.769	7.874	-0.105

<b>15</b>	8.099	8.211	-0.112
<b>16</b>	8.727	8.839	-0.112
<b>17</b>	9.356	9.477	-0.121
<b>18</b>	9.796	10.102	-0.306
<b>19</b>	10.525	10.655	-0.13
<b>20</b>	10.947	11.079	-0.132
<b>21</b>	11.225	11.364	-0.139
<b>22</b>	11.931	12.071	-0.14
<b>23</b>	12.223	12.367	-0.144
<b>24</b>	12.332	12.474	-0.142
<b>25</b>	12.419	12.561	-0.142
<b>PROMEDIO (<math>\bar{X}</math>)</b>			<b>-0.10992</b>

En la figura 5.21 se muestra las gráficas de las mediciones del voltaje de alimentación, lo que nos permite apreciar la linealidad de las mediciones del prototipo comparada con el patrón de medición.

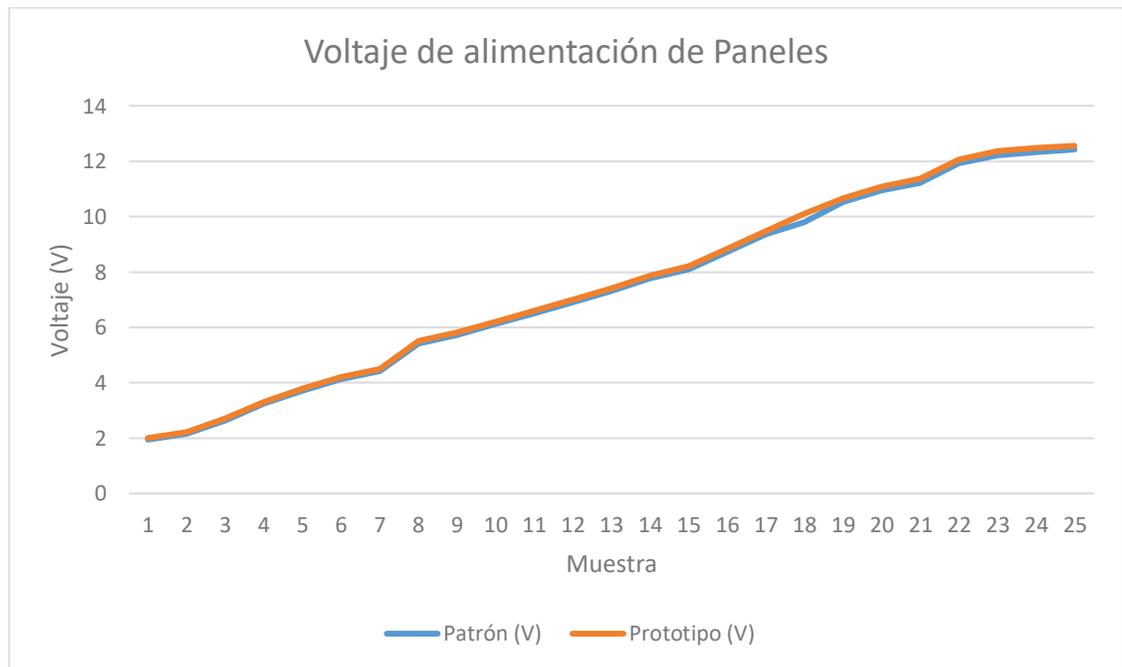


Figura 5.21 Gráfico mediciones de voltaje de alimentación de paneles

En la tabla 5.9 se muestra los cálculos para obtener la desviación estándar que vendrá a ser la incertidumbre de los datos de medición.

*Tabla 5.8 Cálculos para la desviación estándar*

$X_i - \bar{X}_i$	$(X_i - \bar{X}_i)^2$
0.06192	0.003834086
0.05292	0.002800526
0.04592	0.002108646
-0.068	0.004624
-0.074	0.005476
-0.072	0.005184
-0.076	0.005776
-0.088	0.007744
-0.091	0.008281
-0.095	0.009025
-0.09	0.0081
0.00992	9.84064E-05
-0.1	0.01
-0.105	0.011025
-0.112	0.012544
-0.112	0.012544
-0.121	0.014641
-0.306	0.093636
-0.13	0.0169
-0.132	0.017424
-0.139	0.019321
-0.14	0.0196
-0.144	0.020736
-0.142	0.020164
-0.03208	0.001029126
SUMA	0.332615792
SUMA/(n-1)	0.013858991

$$S(X_i) = 0.117724217$$

Por tanto la incertidumbre vendrá representada por la desviación estándar cuyo valor es 0.117 V.

### c) Mediciones de corriente

En la tabla 5.10 observaremos los datos de medición para la corriente de alimentación de las matrices superior e inferior de LEDs.

Tabla 5.9 Muestras de corriente de la alimentación de paneles de LED

Nº	Patrón (A)	Prototipo (A)	Corrección (A)
1	0.349	0.326	0.023
2	0.487	0.472	0.015
3	0.626	0.618	0.008
4	0.812	0.789	0.023
5	0.918	0.899	0.019
6	1.216	1.203	0.013
7	1.626	1.622	0.004
8	2.349	2.348	0.001
PROMEDIO ( $\bar{x}$ )			0.01325

En la figura 5.22 se muestra las gráficas de las mediciones de la corriente que consumen los paneles de LEDs lo que nos permite apreciar la linealidad de las mediciones del prototipo comparada con el patrón de medición.

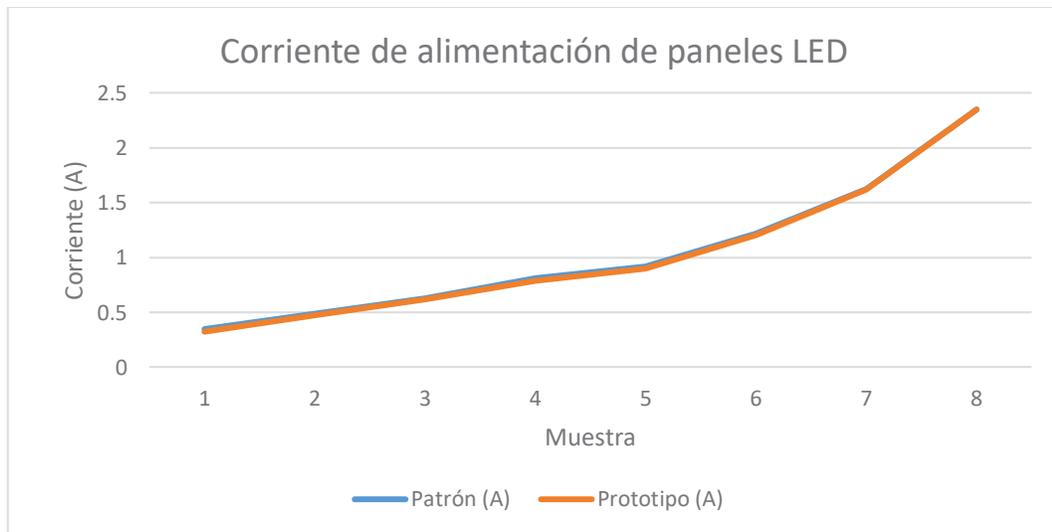


Figura 5.22 Gráfico mediciones de corriente de alimentación de paneles LED

En la tabla 5.11 se muestra los cálculos para obtener la desviación estándar que vendrá a ser la incertidumbre de los datos de medición.

*Tabla 5.10 Cálculos para la desviación estándar*

$X_i - \bar{X}_i$	$(X_i - \bar{X}_i)^2$
0.00975	9.50625E-05
0.00175	3.0625E-06
-0.00525	2.75625E-05
0.023	0.000529
0.019	0.000361
0.013	0.000169
0.004	1.6E-05
-0.01225	0.000150062
<b>SUMA</b>	<b>0.00135075</b>
<b>SUMA/(n-1)</b>	<b>0.000192964</b>

$$S(X_i) = 0.013891159$$

Por tanto la incertidumbre vendrá representada por la desviación estándar cuyo valor es 0.039 A.

## CONCLUSIONES

Las conclusiones adquiridas de los resultados y del proceso de desarrollo del proyecto de tesis se resumen en las siguientes:

- El sistema de radioenlace, que forma como primera etapa del sistema de comunicación, trabaja de manera estable no presentando ninguna interrupción desde su implementación, debido a las condiciones de línea de vista, distancia y demás parámetros analizados en la etapa de diseño del sistema de comunicación.
- La red VPN posibilita la conexión remota desde cualquier parte del mundo tan solo teniendo un servicio de internet hace posible el acceso en equipos que trabajan con sistemas operativos móviles y de escritorio teniendo así acceso a la información en tiempo real y a los elementos de la red local (LAN) con lo que se puede tener el control de los mismos.
- La plataforma Raspberry Pi al almacenar los datos sobre una plataforma de base de datos como Mysql no mostró inconvenientes en cuanto a espacio de memoria.
- El filtro FIR MEDIA MOVIL al realizar las pruebas en laboratorio y apoyado con la simulación realizada en el diseño del mismo actúa de manera eficiente con 60 muestras, esta cantidad de muestras debido a la capacidad de memoria RAM y el procesador de la plataforma Raspberry Pi y evitar un desfase de los tiempos (tomados desde el reloj en tiempo real, RTC) que se toma una muestra cada 1 segundo y se almacena un dato cada 1 minuto.

- De la validación de mediciones realizadas en el ítem 5.6 el margen de incertidumbre en cuanto a los valores de temperatura es tal debido a la diferencia de temperaturas existentes en cada espacio físico donde se tomaron los datos, dicho en otra forma, los sensores del equipo patrón y el prototipo toman las temperaturas en medios físicos con diferente temperatura a pesar de estar cerca y esto aumenta la diferencia en las mediciones del patrón y el prototipo.
- En cuanto a la validación de los datos de medición de los parámetros de voltaje y corriente se pudo observar que no existen grandes márgenes de incertidumbre.
- Dado los resultados el sistema tiene la capacidad de ser implementado en otros proyectos de investigación o proyectos que requieran un sistema de telemetría previo acondicionamiento de los elementos o sensores de entrada y periféricos de salida de la plataforma Raspberry Pi.

## RECOMENDACIONES

Las recomendaciones se realizan de acuerdo a las observaciones en el proceso del desarrollo del proyecto de tesis y evaluación del funcionamiento del sistema ya implementado. Se describen las siguientes recomendaciones:

- La fuente de alimentación del módulo de conmutación debe estar aislada de la fuente de alimentación de la plataforma Raspberry Pi, ya que el ruido electromagnético y las corrientes de retorno a los puertos de la plataforma Raspberry Pi podrían generar algún daño.
- La fuente de alimentación de plataforma Raspberry Pi, según experiencia de implementación, debe estar en niveles superiores a los 5V o estables en 5 V ya que al trabajar con niveles bajo los 5V no brinda la alimentación adecuada a la memoria microSD y por tanto daña el sistema operativo y el procesador de la plataforma.
- Las condiciones adecuadas de temperatura, generadas básicamente por el microprocesador, para la plataforma Raspberry Pi son importantes, sobre todo cuando procesa muchas operaciones, para lo que se recomienda implementar una adecuada ventilación para mantener bajas condiciones de temperatura y así evitar el sobrecalentamiento de sus componentes.
- Si se desea implementar un sistema de radioenlaces en un proyecto cuyas condiciones de distancia, línea de vista y espectro presentan mayores dimensiones, se recomienda usar antenas y transmisores con mejores capacidades.

- Si se desea obtener con mayor detalle y precisión valores de la incertidumbre o errores de medición del prototipo implementado en este trabajo, se deberá realizar un proceso de calibración más especializado.

## BIBLIOGRAFÍA

1. *Sistemas de comunicaciones electrónicas*, Tomasi Wayne. PEARSON EDUCACIÓN. 4ta Edición 2003.
2. Física universitaria Vol. 2 11va edición, HUGH D. YOUNG, ROGER A. FREEDMAN, Editorial PEARSON.
3. Radio Handbook, 21va edición, William I. Orr, Howard W. Sams & Co.
4. airMAX CCERTIFIED, Ubiquiti Academy UAC v1.0.
5. DECRETO SUPREMO N° 006-2013-MTC.
6. *Telemetry Systems Engineering*, Frank Carden, Russell P. Jedlicka, Robert Henry. ATECH HOUSE.
7. *Telemetry Principles*, D. Patranabis, Tata McGraw-Hill Education, 10ª Reimpresión en 2007.
8. Academia de Networking de Cisco Systems, Guía del primer año CCNA 1 y 2, Tercera edición, Cisco Systems, Inc. Cisco Networking Academy Program.
9. Diseño con amplificadores operacionales y circuitos integrados analógicos, 3ra edición, Sergio Franco, Mc Graw Hill.
10. Introducción al análisis de circuitos, Robert L. Boylestad, Pearson Educación, 2004.
11. The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing, Steven W. Smith, Segunda edición, Editorial California Technical Publishing.
12. <https://www.raspbian.org/>

13. Compilador C CCS y simulador PROTEUS para microcontroladores PIC,  
Eduardo Garcia Brejio, Editorial Alfaomega
14. Getting Started with Raspberry Pi, Matt Richardson and Shaw Wallace,  
Primera Edición, Editorial Brian Jepson
15. <https://es.wikipedia.org/wiki/HTML>
16. SQL: Los fundamentos del lenguaje, Ediciones ENI 2014, Eric Godoc.
17. Sistemas operativos monopuesto, Jesus Niño Camazón, Editex 2011
18. <https://help.ubnt.com/hc/es/articles/204952114-airMAX-datos-de-la-antena>
19. *The Bypass Capacitor in High-Speed Environments*, Edición 1996, Texas  
Instruments Incorporated
20. DSP for MATLAB and LabVIEW Volume III: Digital Filter Design, Forester W.  
Isen, Editorial Morgan & Claypool Publishers, 2009

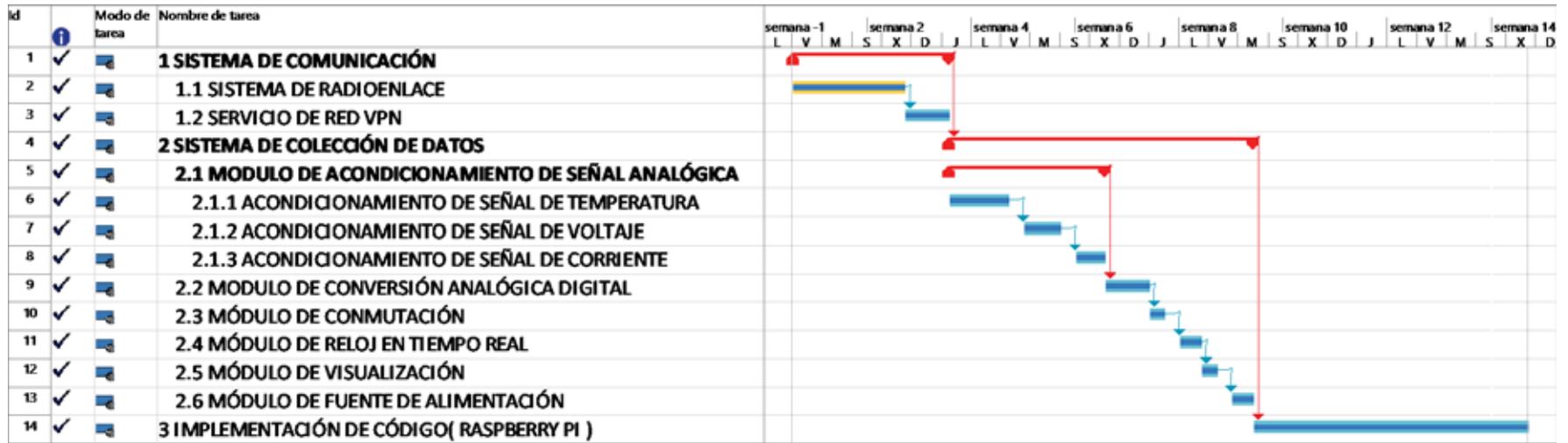
## ANEXO 1

### PRESUPUESTO

DESCRIPCIÓN		CANT.	PRECIO U.	SUB-TOTAL
<b>1.1</b>	<b>SISTEMA DE COMUNICACIÓN</b>			<b>S/. 4.868,00</b>
<b>1.1.1</b>	<b>SISTEMA DE RADIOENLACE</b>			<b>S/. 3.620,00</b>
1.1.1.1	Equipo de radioenlace 22dBi	2	S/. 400,00	S/. 800,00
1.1.1.2	Rollo de cable STP	1	S/. 300,00	S/. 300,00
1.1.1.3	Conectores RJ54	4	S/. 5,00	S/. 20,00
1.1.1.4	SERVICIO DE INSTALACIÓN Y CONFIGURACIÓN	1	S/. 2.500,00	S/. 2.500,00
<b>1.1.2</b>	<b>SERVICIO DE RED VPN</b>			<b>S/. 1.248,00</b>
1.1.2.1	ROUTER MIKROTIK	1	S/. 400,00	S/. 400,00
1.1.2.2	PATCH CORD DE 1m	2	S/. 24,00	S/. 48,00
1.1.2.3	SERVICIO DE CONFIGURACIÓN	1	S/. 800,00	S/. 800,00
<b>1.2</b>	<b>SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS</b>			<b>S/. 226,80</b>
<b>1.2.1</b>	<b>ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL ANALÓGICA</b>			<b>S/. 32,40</b>
<b>1.2.1.1</b>	<b>ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL DE TEMPERATURA</b>			<b>S/. 6,00</b>
1.2.1.1.1	AMPLIFICADOR OPERACIONAL LM358	2	S/. 3,00	S/. 6,00
1.2.1.1.2	RESISTENCIA DE 10kΩ	3	S/. 0,20	S/. 0,60
1.2.1.1.3	RESISTENCIA DE 50kΩ	3	S/. 0,20	S/. 0,60
1.2.1.1.4	SENSOR DE TEMPERATURA	3	S/. 10,00	S/. 30,00
1.2.1.1.5	CAPACITOR 1uF	3	S/. 0,30	S/. 0,90
<b>1.2.1.2</b>	<b>ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL DE VOLTAJE</b>			<b>S/. 1,40</b>
1.2.1.2.1	RESISTENCIA DE 47KΩ	2	S/. 0,20	S/. 0,40
1.2.1.2.2	RESISTENCIA DE 15kΩ	2	S/. 0,20	S/. 0,40
1.2.1.2.3	CAPACITOR 1uF	2	S/. 0,30	S/. 0,60
<b>1.2.1.3</b>	<b>ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL DE CORRIENTE</b>			<b>S/. 25,00</b>
1.2.1.3.1	MODULO SENSOR DE CORRIENTE ACS712	1	S/. 25,00	S/. 25,00
<b>1.2.2</b>	<b>MODULO DE CONVERSION ANALOGICA DIGITAL</b>			<b>S/. 30,00</b>
1.2.2.1	CONVERSOR ADC MCP3208	1	S/. 30,00	S/. 30,00
<b>1.2.3</b>	<b>MÓDULO DE CONMUTACIÓN</b>			<b>S/. 32,00</b>
1.2.3.1	MODULO RELÉ	1	S/. 32,00	S/. 32,00
<b>1.2.4</b>	<b>MODULO DE RELOJ EN TIEMPO REAL</b>			<b>S/. 8,40</b>
1.2.4.1	RELOJ DE TIEMPO REAL	1	S/. 3,00	S/. 3,00
1.2.4.2	RESISTENCIA DE 10kΩ	2	S/. 0,20	S/. 0,40
1.2.4.3	BATERÍA 3V	1	S/. 3,50	S/. 3,50
1.2.4.4	OSCILADOR DE 32.768 KHz	1	S/. 1,20	S/. 1,20
1.2.4.5	CAPACITOR 22uF	1	S/. 0,30	S/. 0,30
<b>1.2.5</b>	<b>MÓDULO DE VISUALIZACIÓN</b>			<b>S/. 34,00</b>
1.2.5.1	MODULO DISPLAY 7 SEGMENTOS TM1637	1	S/. 34,00	S/. 34,00
<b>1.2.6</b>	<b>MODULO DE FUENTE DE ALIMENTACIÓN</b>			<b>S/. 90,00</b>
1.2.6.1	FUENTE CONMUTADA DE 5V a 3 Amp	1	S/. 50,00	S/. 50,00
1.2.6.2	FUENTE CONMUTADA DE 5V a 1 Amp	1	S/. 40,00	S/. 40,00
<b>1.3</b>	<b>IMPLEMENTACION DE CODIGO( RASPBERRY PI )</b>			<b>S/. 230,00</b>
1.3.1	RASPBERRY PI 3	1	S/. 230,00	S/. 230,00
<b>TOTAL</b>				<b>S/. 5.324,80</b>

## ANEXO 2

### CRONOGRAMA DE IMPLEMENTACIÓN



## ANEXO 3

### CÓDIGO PARA ANÁLISIS DE FILTRO

```
function LVxMovingAverageFilter(MALength, NoiseAmp)
if MALength<1
    MALength = 2;
end

TDSig = [zeros(1, 40), ones(1, 30), zeros(1, 180)];
TDMat = (TDSig')*[ones(1, 5)];
TDSig = TDMat(:)';
TDSig = TDSig + NoiseAmp*randn(1, length(TDSig));

x = (1/MALength)*ones(1, MALength);

figure(500)
subplot(221)
stem(x, 'bo');
ylabel(['Amplitud'])
xlabel(['(a) Muestra'])
title('Respuesta al impulso')
axis([0, fix(length(x)+1), -inf, 1.2*max(abs(x))])
grid on

subplot(223)
plot(TDSig, 'b')
ylabel(['Amplitud'])
xlabel(['(c) Muestra'])
title('Señal de prueba')
axis([0, inf, -1.2*abs(min(TDSig)), 1.2*abs(max(TDSig))])
grid on

subplot(224)

TDConv = (1/length(x))*conv(x, TDSig);
plot(TDConv, 'b')
ylabel(['Amplitud'])
xlabel(['(d) Muestra'])
title('Convolución de (a) y (b)')
axis([0, length(TDConv), -1.2*abs(min(TDConv)), 1.2*abs(max(TDConv))])
grid on

subplot(222)

fr = abs(fft(x, 4096));
plot([0:1:2048]/2048, fr(1,1:2049))
ylabel(['Magnitud'])
xlabel(['(b) Freq, Units of \pi'])
title('Respuesta de frecuencia normalizada')
grid on
```

## ANEXO 4

### CÓDIGO 1

```
#!/usr/bin/python
import spi dev, time, os
import MySQLdb
from datetime import datetime
import RPi.GPIO as GPIO
GPIO.setmode(GPIO.BCM)
GPIO.setup(18, GPIO.IN)

#ABRIMOS EL BUS SPI
spi = spi dev. Spi Dev()
spi . open(0, 0)

#Funcion para leer datos del bus SPI del ADC MCP3208
#El canal debe ser un entero de 0-7
def ReadChannel (channel ):
    adc=spi . xfer2([1, (8+channel )<<4, 0])
    data=((adc[1]&3)<<8)+adc[2]
    return data

#Funcion para convertir los datos al niveles de voltaje
def ConvertVol tsTemp(data, pl aces):
    vol tsTemp=(data*3. 3)/fl oat(1023)*10
    vol tsTemp=round(vol tsTemp, pl aces)
    return vol tsTemp

def ConvertVol tsCorr(data, pl aces):
    vol tsCorr=((data*3. 3)/fl oat(1023)-2. 64)*5. 41
    vol tsCorr=round(vol tsCorr, pl aces)
    return vol tsCorr

def ConvertVol ts(data, pl aces):
    vol ts=((data*3. 3)/fl oat(1023))*4. 24
    vol ts=round(vol ts, pl aces)
    return vol ts

def Promedi o():
    p=0. 0
    q=0. 0
    r=0. 0
    s=0. 0
    t=0. 0
    for i in range(60):
        #Leemos el sensor Temperatura 1
        Temp1_nivel =ReadChannel (Temp1_canal )
        Temp1_vol ts=ConvertVol tsTemp(Temp1_nivel , 3)
        p=p+Temp1_vol ts
```

```

#Leemos el sensor Temperatura 2
Temp2_nivel =ReadChannel (Temp2_canal)
Temp2_volts=ConvertVoltsTemp(Temp2_nivel , 3)
q=q+Temp2_volts

#Leemos el sensor Voltaje 3
Temp3_nivel =ReadChannel (Temp3_canal)
Temp3_volts=ConvertVoltsTemp(Temp3_nivel , 3)
r=r+Temp3_volts

#Leemos el sensor Voltaje
Volt_nivel =ReadChannel (Volt_canal)
Volt_volts=ConvertVolts(Volt_nivel , 3)
s=s+Volt_volts

#Leemos el sensor Corriente 2
Corr_nivel =ReadChannel (Corr_canal)
Corr_volts=ConvertVoltsCorr(Corr_nivel , 3)
t=t+Corr_volts
time.sleep(delay)
return p, q, r, s, t

def alimentacion():
    b=""
    inputValue = GPIO.input(18)
    if (inputValue == True):
        b="SOLAR"
    else:
        b="COMERCIAL"
    return b

#Definimos los canales del sensor
Temp1_canal =0
Temp2_canal =1
Temp3_canal =2
Volt_canal =3
Corr_canal =4
#Definimos un retardo entre lecturas
delay=1

while True:
    #Abrimos un archivo para guardar los datos
    archivo=open('/media/pi/KINGSTON1/dat_ADC.csv', 'a')

    promed=Promedio()
    u=round(((promed[0])/60), 3)
    Temp1_string=str(u)

    w=round(((promed[1])/60), 3)
    Temp2_string=str(w)

    x=round(((promed[2])/60), 3)
    Temp3_string=str(x)

```

```

y=round(((promed[3])/60),3)
Volt_string=str(y)

z=round(((promed[4])/60),3)
Corr_string=str(z)

#Leemos la fecha de hoy
fecha_hora=datetime.today()
fecha=fecha_hora.date()
fecha_string=str(fecha)
hora=fecha_hora.time()
hora_string=str(hora)
aliment=alimentacion()
aliment_string=str(aliment)

#Ingresamos a la base de datos
db = MySQLdb.connect("localhost", "root", "password123", "fototerapiadb")

#Abrimos el cursor
curs=db.cursor()

#Ejecuta una consulta SQL
curs.execute("""INSERT INTO sensores
(fecha, hora, Temp1, Temp2, Temp3, Volt1, Corr1, Alim) VALUES (%s, %s, %s, %s, %s, %s, %s, %s)
""", (fecha_string, hora, Temp1_string, Temp2_string, Temp3_string, Volt_string, Corr_string, aliment_string))
db.commit()

#Cerramos el cursor
curs.close()

#cerramos la conexión
db.close()

#Guardamos los datos en el archivo
archivo.write(fecha_string + ";" + hora_string + ";" + Temp1_string + ";" +
Temp2_string + ";" + Temp3_string + ";" + Volt_string + ";" + Corr_string + ";" +
aliment_string + "\n")
archivo.close()

```

## ANEXO 5

### CÓDIGO 2

```
#!/usr/bin/python
import spi dev, time, os
import MySQLdb
from datetime import datetime
import RPi.GPIO as GPIO
GPIO.setmode(GPIO.BCM)

#ABRIMOS EL BUS SPI
spi = spi dev. Spi Dev()
spi . open(0, 0)

#Funcion para leer datos del bus SPI del ADC MCP3208
#El canal debe ser un entero de 0-7
def ReadChannel (channel ):
    adc=spi . xfer2([1, (8+channel )<<4, 0])
    data=((adc[1]&3)<<8)+adc[2]
    return data

#Funcion para convertir los datos al niveles de voltaje
def ConvertVol tsTemp(data, pl aces):
    vol tsTemp=(data*3. 3)/fl oat(1023)*20
    vol tsTemp=round(vol tsTemp, pl aces)
    return vol tsTemp

def ConvertVol tsCorr(data, pl aces):
    vol tsCorr=((data*3. 3)/fl oat(1023)-2. 64)*5. 41
    vol tsCorr=round(vol tsCorr, pl aces)
    return vol tsCorr

def ConvertVol ts(data, pl aces):
    vol ts=((data*3. 3)/fl oat(1023))*4. 24
    vol ts=round(vol ts, pl aces)
    return vol ts

def Promedi o():
    p=0. 0
    q=0. 0
    r=0. 0
    s=0. 0
    t=0. 0
    g=0. 0
    for i in range(30):
        #Leemos el sensor Temperatura 1
        Temp1_nivel =ReadChannel (Temp1_canal )
        Temp1_vol ts=ConvertVol tsTemp(Temp1_nivel , 3)
```

```

p=p+Temp1_vol ts

#Leemos el sensor Temperatura 2
Temp2_nivel =ReadChannel (Temp2_canal )
Temp2_vol ts=ConvertVol tsTemp(Temp2_nivel , 3)
q=q+Temp2_vol ts

#Leemos el sensor Temperatura 3
Temp3_nivel =ReadChannel (Temp3_canal )
Temp3_vol ts=ConvertVol tsTemp(Temp3_nivel , 3)
r=r+Temp3_vol ts

#Leemos el sensor Voltaje
Vol t_nivel =ReadChannel (Vol t_canal )
Vol t_vol ts=ConvertVol ts(Vol t_nivel , 3)
s=s+Vol t_vol ts

#Leemos el sensor Corriente 2
Corr_nivel =ReadChannel (Corr_canal )
Corr_vol ts=ConvertVol tsCorr(Corr_nivel , 3)
t=t+Corr_vol ts

#Leemos el sensor de Voltaje de la bateria
Bat_nivel =ReadChannel (Vol t_bat)
Bat_vol ts=ConvertVol ts(Bat_nivel , 3)
g=g+Bat_vol ts
time.sleep(delay)
return p, q, r, s, t, g
def consulta_voltaje(voltaje):
    if (voltaje<11.0):
        conmutar="A"
    if (voltaje>11.0):
        conmutar="C"
    return conmutar
def conmutar(v):
    if (v == "A"):
        #Configuramos el pin GPIO 4 como una salida
        GPIO.setup(18, GPIO.OUT)
        GPIO.output(18, GPIO.LOW)
        Tipo="1" #Solar
    if (v == "C"):
        GPIO.setup(18, GPIO.OUT)
        GPIO.output(18, GPIO.HIGH)
        Tipo="0" #Comercial
    return Tipo
#Definimos los canales del sensor
Temp1_canal =0
Temp2_canal =1
Temp3_canal =2
Vol t_canal =3
Corr_canal =4
Vol t_bat=7
#Definimos un retardo entre lecturas

```

del ay=0.1

while True:

```
    promed=Promedio()
    u=round(((promed[0])/30),3)
    Temp1_string=str(u)

    w=round(((promed[1])/30),3)
    Temp2_string=str(w)

    x=round(((promed[2])/30),3)
    Temp3_string=str(x)

    y=round(((promed[3])/30),3)
    Volt_string=str(y)

    z=round(((promed[4])/30),3)
    Corr_string=str(z)

    f=round(((promed[5])/30),3)
    consul=consulta_volt(f)
    Fuente=conmutar(consul)

    #Leemos la fecha de hoy
    fecha_hora=datetime.today()
    fecha=fecha_hora.date()
    fecha_string=str(fecha)
    hora=fecha_hora.time()
    hora_string=str(hora)
    #Ingresamos a la base de datos
    db = MySQLdb.connect("localhost", "root", "password123", "fototerapiadb")

    #Abrimos el cursor
    curs=db.cursor()

    #Ejecuta una consulta SQL
    curs.execute("""UPDATE actual SET
fecha=%s, hora=%s, Temp1=%s, Temp2=%s, Temp3=%s, Volt1=%s, Corr1=%s, Fuent=%s WHERE
id='1'
""", (fecha_string, hora, Temp1_string, Temp2_string, Temp3_string, Volt_string, Corr_s
tring, Fuente))
    db.commit()

    #Cerramos el cursor
    curs.close()
    print Fuente
    print str(f)
    #cerramos la conexi on
    db.close ()
    time.sleep(del ay)
```

## ANEXO 6

### CÓDIGO 3

```
#!/usr/bin/env python
import sys
import time,os
import datetime
import RPi.GPIO as GPIO
import tm1637
import MySQLdb
#CLK -> GPIO23 (Pin 16)
#DIO -> GPIO24 (Pin 18)
Display = tm1637.TM1637(23,24,tm1637.BRIGHT_TYPICAL)
Display.Clear()
Display.SetBrightness(1)
def sep_let(dBdat):
    for i in range(len(dBdat)):
        Letra=dBdat[i]
        if Letra==" ":
            let1=dBdat[:i]
            let2=dBdat[:i-1]
            break
    return let1

while(True):
    #Ingresamos a la base de datos
    db = MySQLdb.connect("localhost", "root", "password123", "fototerapiadb")
    #Abrimos el cursor
    curs=db.cursor()
    #Ejecuta una consulta SQL
    recs=curs.execute("""SELECT Temp1 FROM actual WHERE id='1' """)
    for x in range(recs):
        A=curs.fetchone()
        B=A[0]
        l1=sep_let(B)
        Letra_1=l1[0]
        Letra_2=l1[1]
        w = 0
        x = int(Letra_1)
        y = int(Letra_2)
        z = 12
    currenttime = [ w, x, y, z ]
    Display.Show(currenttime)
    #Cerramos el cursor
    #print(Letra_1)
    #print(Letra_2)
    curs.close()
    #cerramos la conexi on
    db.close ()
    time.sleep(0.1)
```

## ANEXO 7

### CÓDIGO 4

```
#!/usr/bin/env/ python
## enci ende.py
#Importamos la libreria y le cambiamos el nombre a GPIO
if (Instruccion=0):
import RPi.GPIO as GPIO
#Establecemos el sistema de numeracion que queramos,
#en este caso el sistema BCM
GPIO.setmode(GPIO.BCM)
#Configuramos el pin GPIO 4 como una salida
GPIO.setup(22, GPIO.OUT)
#Encendemos el led
GPIO.output(22, GPIO.HIGH)

if (Instruccion=1):
import RPi.GPIO as GPIO
#Establecemos el sistema de numeracion que queramos,
#en este caso el sistema BCM
GPIO.setmode(GPIO.BCM)
#Configuramos el pin GPIO 4 como una salida
GPIO.setup(22, GPIO.OUT)
#Apagamos el led
GPIO.output(22, GPIO.LOW)
#Y liberamos los GPIO
GPIO.cleanup()
```

## ANEXO 8

### CÓDIGO 5

```
<html >
<head>
<meta content="text/html; charset=ISO-8859-1" http-equiv="content-type">
<title>Fototerapia UNSAAC</title>
<link rel="stylesheet" type="text/css" href="default.css">
<script src="jquery-2.2.3.min.js" type="text/javascript"></script>
<script>
$(document).ready(function(){
    $("input[type=submit]").click(function() {
        var accion = $(this).attr('dir');
        $('form').attr('action', accion);
        $('form').submit();
    });
});
</script>
</head>
<body>

<br>
<div style="text-align: center;"><br></div>
<br>
<table style="text-align: left; margin-left: auto; margin-right: auto;">
<form method="post" action="">
<tbody>
<tr>
<td>Mes</td>
<td>
<select
name="Mes"><option>01</option><option>02</option><option>03</option><option>04</
option><option>05</option><option>06</option><option>07</option><option>08</opti
on><option>09</option><option>10</option><option>11</option><option>12</option><
/select>
<br>
</td>
</tr>
<tr>
<td>Dia</td>
<td>
<select
name="Dia"><option>01</option><option>02</option><option>03</option><option>04</
option><option>05</option><option>06</option><option>07</option><option>08</opti
on><option>09</option><option>10</option><option>11</option><option>12</option><
option>13</option><option>14</option><option>15</option><option>16</option><opti
on>17</option><option>18</option><option>19</option><option>20</option><option>2
1</option><option>22</option><option>23</option><option>24</option><option>25</o
```

```

pti on><opti on>26</opti on><opti on>27</opti on><opti on>28</opti on><opti on>29</opti o
n><opti on>30</opti on><opti on>31</opti on></sel ect>
<br>
</td>
</tr>
<tr>
<td>Hora</td>
<td>
<sel ect
name="Hora"><opti on>01</opti on><opti on>02</opti on><opti on>03</opti on><opti on>04<
/opti on><opti on>05</opti on><opti on>06</opti on><opti on>07</opti on><opti on>08</opt
i on><opti on>09</opti on><opti on>10</opti on><opti on>11</opti on><opti on>12</opti on>
<opti on>13</opti on><opti on>14</opti on><opti on>15</opti on><opti on>16</opti on><opt
i on>17</opti on><opti on>18</opti on><opti on>19</opti on><opti on>20</opti on><opti on>
21</opti on><opti on>22</opti on><opti on>23</opti on><opti on>00</opti on><opti on>%</o
pti on></sel ect>
<br>
</td>
</tr>
<tr>
<td>Usuari o</td>
<td><i nput name="Usuari o"><br>
</td>
</tr>
<tr>
<td>Cl ave</td>
<td><i nput type="password" name="Cl ave"><br>
</td>
</tr>
<tr>
<td>
</td>
<td align="right"><i nput name="Consul tar" val ue="Consul tar" type="submi t"
id="Consul tar" di r="vi ew. php"/></td>
</tr>
<tr>
<td>
</td>
<td align="right"><i nput name="Exportar" val ue="Exportar" type="submi t"
id="Exportar" di r="i nfo. php"/></td>
</tr>
<tr>
<td style="text-align: center;" colspan="2" rowspan="1"><a
href="submi t. php">Temperaturas</a></td>
</tr>
<tr>
<td style="text-align: center;" colspan="2" rowspan="1"><a
href="potenci a. php">Al i mentaci on</a></td>
</tr>
</tbody>
</form>
</tabl e>
<br>
</body>
</html >

```

## ANEXO 9

### CÓDIGO 6

```
<html >
<head>
  <meta content="text/html; charset=ISO-8859-1" http-equiv="content-type">
  <title>View Users</title>
  <link rel="stylesheet" type="text/css" href="default.css">
</head>
<body>
<div style="text-align: center;"></div>
<br>

<?php
//Connect to MySQL
$mes = $_REQUEST['Mes'];
$dia = $_REQUEST['Dia'];
$hora = $_REQUEST['Hora'];
$usuario = $_REQUEST['Usuario'];
$clave = $_REQUEST['Clave'];
$gend = $_REQUEST['gender'];

mysql_connect('127.0.0.1', $usuario, $clave) or die (mysql_error());

//Seleccionar base de datos
mysql_select_db('fototerapiadb') or die (mysql_error());

$result = mysql_query("SELECT * from sensores where fecha like '____$mes%' and
fecha like '______$dia%' and hora like '$hora%'");

//Atributos de la tabla
echo " <table style='width: 75%; text-align: left; margin-left: auto; margin-
right: auto;' border='0' cellpadding='2'
cellspacing='2' ><tr><th>Fecha</th><th>Hora</th><th>Temp1</th><th>Temp2</th></th>
<th>Temp3</th><th>Voltaje</th><th>Corriente</th></tr>";
while($row = mysql_fetch_array($result)){
  //Mostrar los datos en diferentes celdas de tabla
  echo "<tr><td>" . $row['fecha'] . "</td><td>" . $row['hora'] . "</td><td>" .
$row['Temp1'] . "</td><td>" . $row['Temp2'] . "</td><td>" . $row['Temp3'] .
"</td><td>" . $row['Volt1'] . "</td><td>" . $row['Corr1'] . "</td></tr>";}
//Tag para cerrar tabla
echo "</table>";
?>
<br>
<a href="index.html">INICIO</a>
</body>
</html >
```

## ANEXO 10

### CÓDIGO 7

```
<?php
date_default_timezone_set("America/Lima");
header('Content-Type: application/json');
$con = mysqli_connect("127.0.0.1", "root", "password123", "foterapiadb");
switch($_GET['q']){
    // Buscar Último Dato
    case 1:
        if (mysqli_connect_errno($con)) {
            echo "Failed to connect to DataBase: " . mysqli_connect_error();
        }
        else {
            $data_points = array();
            $result = mysqli_query($con, "SELECT * FROM actual ORDER BY id DESC
LIMIT 0,1");
            while ($row = mysqli_fetch_array($result)) {
                $x = time($row['hora']) * 1000 - 18012000;
                $t1=(float)$row['Temp1'];
                $t2=(float)$row['Temp2'];
                $t3=(float)$row['Temp3'];
                $point = array($x, $t1, $t2, $t3);
                //array_push($data_points, $point);
            }
            echo json_encode($point);
        }
        mysqli_close($con);
        break;
    case 2:
        if (mysqli_connect_errno($con)) {
            echo "Failed to connect to DataBase: " . mysqli_connect_error();
        } else {
            $data_points = array();
            $result = mysqli_query($con, "SELECT * FROM actual ORDER BY id DESC
LIMIT 0,1");
            while ($row = mysqli_fetch_array($result)) {
                $point = array("Volt" => $row['Volt1'], "Corr" =>
$row['Corr1'], "Fuente" =>$row['Fuent']);
                array_push($data_points, $point);
            }
            echo json_encode($data_points);
        }
        mysqli_close($con);
        break;
}
?>
```

## ANEXO 11

### CÓDIGO 8

```
<!DOCTYPE HTML PUBLIC >
<html >
  <head runat="server">
    <meta http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=utf-8">
    <meta content="text/html; charset=ISO-8859-1" http-equiv="content-type">
    <title>Tiempo Real </title>
    <link rel="stylesheet" type="text/css" href="default.css">

    <!-- 1. Add these JavaScript inclusions in the head of your page -->
    <script type="text/javascript" src="jquery-2.1.4.js"></script>
    <script type="text/javascript" src="highcharts.js"></script>
    <script type="text/javascript" src="loader.js"></script>
  </script>

  <!-- 2. Add the JavaScript to initialize the chart on document ready -->
  <script>
    var chart; // global

    /**
     * Request data from the server, add it to the graph and set a timeout
to request again
     */
    function requestData() {
      $.ajax({
        url: 'http://192.168.2.63/datos.php?q=1',
        error: function (point) {
          var series = chart.series[0],

          longer than 20
          shift = series.data.length > 50; // shift if the series is

          var values = eval (point);
          chart.series[0].addPoint([values[0], values[1]], true, shift);
          chart.series[1].addPoint([values[0], values[2]], true, shift);
          chart.series[2].addPoint([values[0], values[3]], true, shift);

          // call it again after defined seconds
          setTimeout(requestData, 1000);
        },
        success: function (point) {
          var series = chart.series[0],
          shift = series.data.length > 50; // shift if the series is

          longer than 20

          // add the point
          // chart.series[0].addPoint(eval (point), true, shift);
        }
      });
    }
  </script>
</html>
```

```

        var values = eval (point);
        chart.series[0].addPoint([values[0], values[1]], true, shift);
        chart.series[1].addPoint([values[0], values[2]], true, shift);
        chart.series[2].addPoint([values[0], values[3]], true, shift);

        // call it again after defined seconds
        setTimeout(requestData, 1000);
    },
    cache: false
    });
}

$(document).ready(function() {
    chart = new Highcharts.Chart({
        chart: {
            renderTo: 'container',
            defaultSeriesType: 'spline',
            events: {
                load: requestData
            }
        },
        title: {
            text: 'Temperatura en tiempo real'
        },
        xAxis: {
            type: 'datetime',
            tickPixelInterval: 150,
            maxZoom: 20 * 1000
        },
        yAxis: {
            minPadding: 0.2,
            maxPadding: 0.2,
            title: {
                text: 'Temperatura °C',
                margin: 80
            }
        },
        series: [{
            name: 'Temp Ambiente',
            data: []
        }, {
            name: 'Temp P_superior',
            data: []
        }, {
            name: 'Temp P_inferior',
            data: []
        }
    ]
    });
});
</script>

</head>
<body>

```

```
<br>
  <div style="text-align: center;"><br></div>
  <tr>
  <td>      </td>
  <td align="right"><a href="index.html"><input type="button"
value="Inicio"></a></td>
  </tr>
  <!-- 3. Add the container -->
  <div id="container" style="width: 1000px; height: 400px; margin: 0
auto"></div>
  <div style="width: 800px; margin: 0 auto"></div>

</body>
</html>
```

## ANEXO 12

### CÓDIGO 9

```
<?php
/*Generando excel desde mysql con PHP
  @Autor: Franklin Bustinza Macedo
 */
$mes = $_REQUEST['Mes'];
$dia = $_REQUEST['Dia'];
$hora = $_REQUEST['Hora'];
$usuario = $_REQUEST['Usuario'];
$clave = $_REQUEST['Clave'];

$conexion = mysql_connect('127.0.0.1', $usuario, $clave);
mysql_select_db ("fototerapiadb", $conexion);
$sql = "SELECT * from sensores where fecha like '____$mes%' and fecha like
'______$dia%' ORDER BY sensorid ASC";
$resultado = mysql_query ($sql, $conexion) or die (mysql_error ());
$registros = mysql_num_rows ($resultado);

if ($registros > 0) {
  require_once 'Clases/PHPExcel.php';
  $objPHPExcel = new PHPExcel ();

  //Informacion del excel
  $objPHPExcel->
  getProperties()
    ->setCreator("Franklin Bustinza Macedo")
    ->setLastModifiedBy("Franklin Bustinza Macedo")
    ->setTitle("Exportar excel desde mysql")
    ->setSubject("Ejemplo 1")
    ->setDescription("Documento generado con PHPExcel")
    ->setKeywords("Franklin Bustinza Macedo con phpexcel")
    ->setCategory("Sensores");

  $i = 1;
  while ($registro = mysql_fetch_object ($resultado)) {
    $objPHPExcel->setActiveSheetIndex(0)
      ->setCellValue('A' . $i, $registro->sensorid);
    $objPHPExcel->setActiveSheetIndex(0)
      ->setCellValue('B' . $i, $registro->fecha);
    $objPHPExcel->setActiveSheetIndex(0)
      ->setCellValue('C' . $i, $registro->hora);
    $objPHPExcel->setActiveSheetIndex(0)
      ->setCellValue('D' . $i, $registro->Temp1);
    $objPHPExcel->setActiveSheetIndex(0)
      ->setCellValue('E' . $i, $registro->Temp2);
    $objPHPExcel->setActiveSheetIndex(0)
      ->setCellValue('F' . $i, $registro->Temp3);
    $objPHPExcel->setActiveSheetIndex(0)
```

```
        ->setCellValue('G'.$i, $registro->Volt1);
$objPHPExcel->setActiveSheetIndex(0)
        ->setCellValue('H'.$i, $registro->Corr1);
    $i++;
}
}
header('Content-Type: application/vnd.ms-excel');
header('Content-Disposition: attachment; filename="Datos_fotodb.xlsx"');
header('Cache-Control: max-age=0');

$objWriter=PHPExcel_IOWriter::createWriter($objPHPExcel, 'Excel2007');
$objWriter->save('php://output');
exit;
mysql_close ();
?>
```

## ANEXO 13

### CÓDIGO 10

```
<html >
<head>
  <meta http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=utf-8">
  <meta content="text/html; charset=ISO-8859-1" http-equiv="content-type">
  <title>Alimentación</title>
  <link rel="stylesheet" type="text/css" href="default.css">
  <!-- 1. Add these JavaScript inclusions in the head of your page -->
  <script type="text/javascript" src="jquery-2.1.4.js"></script>
  <script type="text/javascript" src="loader.js"></script>
  <script type="text/javascript">
google.charts.load('current', {'packages': ['gauge']});
google.charts.setOnLoadCallback(drawChart);
function drawChart() {
  var data = google.visualization.arrayToDataTable([
    ['Label', 'Value'],
    ['Voltaje', 0],
    ['Corriente', 0]
  ]);
  var options = {
    max: 30,
    min: 0,
    width: 350, height: 200,
    redFrom: 20, redTo: 30,
    yellowFrom: 12, yellowTo: 20,
    greenFrom: 0, greenTo: 12,
    minorTicks: 5
  };
  var chart = new
google.visualization.Gauge(document.getElementById('Medidores'));
chart.draw(data, options);
setInterval(function() {
  var JSON=$.ajax({
    url: "http://192.168.2.63/datos.php?q=2",
    dataType: 'json',
    async: false}).responseText;
  var Respuesta=jQuery.parseJSON(JSON);

  Fuent=Respuesta[0].Fuente;
  data.setValue(0, 1, Respuesta[0].Volt);
  data.setValue(1, 1, Respuesta[0].Curr);
  chart.draw(data, options);

  if (Fuent == 0) {
    document.getElementById("demo").innerHTML = "SOLAR";
  }
  else {
    document.getElementById("demo").innerHTML = "COMERCIAL";
  }
}
);
</script>
</head>
</html >
```



## ANEXO 14

### GLOSARIO DE TERMININOS

**AZIMUT:** El azimut es el ángulo que forma un cuerpo y el Norte cardinal, medido en sentido de rotación de las agujas de un reloj alrededor del horizonte del observador.

**dB:** El decibelio permite expresar la relación logarítmica entre dos magnitudes de campo.

**dB<sub>i</sub>:** Son los Decibeles de ganancia sobre un radiador isotrópico o una Relación logarítmica entre la potencia de emisión de una antena en relación a un radiador isotrópico.

**dB<sub>m</sub>:** Es una unidad de medida de potencia expresada en decibelios (dB) relativa a un milivatio (mW).

**DHCP:** Por sus siglas en inglés (Dynamic Host Configuration Protocol), el *protocolo de configuración dinámica de host* es un servidor que usa protocolo de red de tipo cliente/servidor en el que generalmente un servidor posee una lista de direcciones IP dinámicas y las va asignando a los clientes.

**ELEVACIÓN:** La elevación es la distancia angular vertical que hay entre un cuerpo y el horizonte local del observador o, también llamado, plano local del observador.

**EIRP:** Por sus siglas en inglés (effective isotropic radiated power) es la cantidad de potencia que emitiría una antena isotrópica teórica para producir la densidad de potencia observada en la dirección de máxima ganancia de una antena

**ETHERNET:** Es un estándar de comunicación para computadoras para comunicación dentro de redes de área local.

**FIR:** Por sus siglas en inglés (Finite Impulse Response) es un tipo de filtro digital cuya respuesta del impulso cae a cero después de un intervalo de tiempo finito.

**GPIO:** Por sus siglas en inglés (General Purpose Input/Output), es un grupo de salidas y entradas de propósito general cuyos pines se pueden programar para su control.

**HTML:** Por sus siglas en inglés (HyperText Markup Language), es un lenguaje de marcas de hipertexto, generalmente aplicado en la elaboración de páginas web.

**I2C:** Por sus siglas en Inglés Inter-Integrated Circuit) es un bus de datos que se usa en la comunicación entre un controlador y un circuito periférico.

**IP:** Por sus siglas en inglés (Internet Protocol), es una dirección binaria de 32 bits usada en protocolos de internet para identificar a un host o computadora dentro de una red específica.

**LAN:** Por sus siglas en inglés (Local Area Network), es una red que está conformada por dispositivos de red los cuales comparten dispositivos periféricos y paquetes de información de manera local.

**LED:** Por sus siglas en inglés (Ligth-Emitting Diode), es un tipo de diodo cuya facultad es la de emitir luz.

**MASCARA DE RED:** Es una combinación binaria que se usa para delimitar el ámbito de una red de computadoras.

**NAT:** Por sus siglas en inglés (Network Address Translation), diseñado para la conservación de direcciones IP. Esta habilita direcciones IP privadas

**PoE:** Por sus siglas en inglés (Power Over Ethernet), que es una tecnología que incorpora alimentación sobre cableado ethernet dentro de una red LAN.

**PUERTA DE ENLACE:** En inglés (Gateway), es el dispositivo que permite la conexión entre diferentes dispositivos permitiéndoles también compartir recursos.

**RTC:** El termino RTC en este proyecto tiene por siglas en ingles (Real Time Clock) es un reloj de tiempo real el cual es usado en ordenadores y permite que la hora y fecha se mantengan al estar estas apagadas.

**SPI:** Por sus siglas en inglés (Serial Peripheral Interface) es un standard de comunicación serial para la transferencia de información entre dos circuitos integrados regulados por un reloj para una comunicación sincrónica.

**SQL:** Por sus siglas en inglés (Structured Query Language), es un lenguaje de consulta estructurada para plataformas de bases de datos

**TDMA:** Por sus siglas en ingles (Time Division Multiple Access), es una técnica de transmisión de señales digitales que consiste en la transmisión simultánea desde diferentes fuentes digitales a través de un canal de gran capacidad.

**VPN:** Por sus siglas en inglés (Virtual Private Network), es una red privada virtual está construida sobre una red pública, lo que permite actuar a los dispositivos de red en dos diferentes redes locales LAN como si estuvieran en una misma red local LAN.

**WAN:** Por sus siglas en inglés (Wide Area Network), componen una red de mayor área geográfica interconectando redes de áreas pequeñas como las redes LAN.