

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



**Medidor de Eficiencia Energética para aires
acondicionados de expansión con monitoreo remoto
SCADA.**

PRESENTADO POR:

MANFRED MAURICIO GONZÁLEZ ROMERO

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO ELECTRICISTA

CIUDAD UNIVERSITARIA, JULIO 2016

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR INTERINO :

LIC. JOSÉ LUIS ARGUETA ANTILLÓN

SECRETARIA GENERAL :

DRA. ANA LETICIA ZA VALETA DE AMAYA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO :

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

SECRETARIO :

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

DIRECTOR :

ING. ARMANDO MARTÍNEZ CALDERÓN

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO ELECTRICISTA

Título :

**Medidor de Eficiencia Energética para aires acondicionados
de expansión con monitoreo remoto SCADA.**

Presentado por :

MANFRED MAURICIO GONZÁLEZ ROMERO

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

ING. WERNER DAVID MELÉNDEZ VALLE

San Salvador, Julio 2016

Trabajo de Graduación Aprobado por:

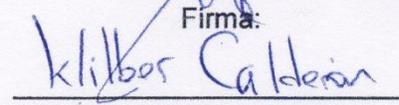
Docente Asesor :

ING. WERNER DAVID MELÉNDEZ VALLE

ACTA DE CONSTANCIA DE NOTA Y DEFENSA FINAL

En esta fecha, Martes 12 de julio de 2016, en la Sala de Lectura de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, a las 4:30 p.m. horas, en presencia de las siguientes autoridades de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador:

1. Ing. Armando Martínez Calderón
Director

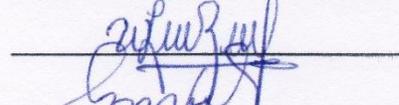
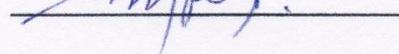
Firma: 
Firma: 



2. MSc. José Wilber Calderón Urrutia
Secretario

Y, con el Honorable Jurado de Evaluación integrado por las personas siguientes:

- 1- Ing. Werner David Meléndez Valle
2- Ing. Walter Leopoldo Zelaya Chicas
3- Ing. Gerardo Marvin Jorge Hernández

Firma: 



Se efectuó la defensa final reglamentaria del Trabajo de Graduación:

Medidor de Eficiencia Energética para aires acondicionados de expansión con monitoreo remoto SCADA.

A cargo del Bachiller:

- González Romero Manfred Mauricio

Habiendo obtenido en el presente Trabajo una nota promedio de la defensa final: 8.4

(OCHO PUNTO CUATRO)

AGRADECIMIENTOS.

Primeramente agradezco a mi familia, a mi padre Mauricio Antonio González y a mi madre Nora Marina Romero por apoyarme, motivarme, brindarme la ayuda económica para poder culminar mi carrera universitaria y porque siempre desean lo mejor para mí; a ellos debo mi carrera universitaria. También quiero agradecer a todos los ingenieros de la escuela de ingeniería eléctrica por sus enseñanzas; en especial al Ing. Calor Pocasangre y al Ing. Werner Meléndez quienes fueron mis mentores y amigos durante mi formación académica y durante el proceso de desarrollo de este trabajo. También agradezco a mis compañeros, colegas de estudio, en especial a mis amigos y amigas con los cuales compartí experiencias y que nos esforzamos juntos a lo largo de la carrera siempre alegrándonos el camino y apoyándonos durante las largas jornadas de estudio y por el apoyo brindado en las buenas y en las malas, sin ellos todo esto no sería posible. Muchas gracias.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	i
OBJETIVOS.	ii
ALCANCES.	iii
ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS.....	iv
1. REFERENCIA TEÓRICA.	1
1.1. Sistemas de refrigeración aire acondicionado: compresión y absorción.	1
1.1.1. Sistema de refrigeración por compresión.	1
1.1.2. Sistema de refrigeración por absorción.	2
1.1.3. Partes de una unidad de aire acondicionado.	4
1.1.4. Tipos de unidades de aire acondicionado.	7
1.2. Coeficientes de rendimiento (COP) y eficiencia energética en el ciclo de refrigeración (EER) de la bomba de calor.	10
1.3. Teoría sobre cálculo del EER.	12
1.3.1. La relación de eficiencia energética (Energy Efficiency Ratio, EER).	12
1.3.2. Unidades de potencia empleadas refrigeración.	12
1.3.3. Calculo del EER de una unidad de Aire Acondicionado [14].	13
1.4. LINEAMIENTOS PARA MEDICIONES DE PARÁMETROS SEGÚN NORMAS.....	19
1.4.1. Preparación previa de la unidad de AA.	19
1.4.2. Medición de Área del ducto de salida del evaporador.	19
1.4.3. Temperatura y humedad de salida.....	21
1.4.4. Temperatura y humedad de entrada.	21
1.4.5. Velocidad del viento (velocidad del flujo de aire).....	22
1.4.6. Potencia eléctrica.	22
2. SOLUCIÓN PROPUESTA.....	23
2.1. Diseño del prototipo.	23
2.1.1. Esquema general del sistema que conforma el prototipo de medidor.	24
2.2. Descripción de los componentes del Hardware.	25
2.2.1. Raspberry Pi Modelo B Rev2.0 ARM 11 – 512MB RAM	25
2.2.2. Arduino Mega 2560.	27
2.2.3. Arduino UNO rev 3.	29
2.2.4. Módulo WiFi Serial ESP8266.....	30

2.2.5.	Pantalla LCD Nokia 5110/3310.	32
2.2.6.	Reloj de tiempo real (RTC).....	34
2.2.7.	Sensor digital de temperatura y humedad relativa RHT03	36
2.2.8.	Sensor de corriente no invasivo SCT016 (Transformador de corriente).....	37
2.2.9.	Sensor de efecto Hall US1881.	39
2.3.	Descripción del funcionamiento.....	41
2.4.	Sub-Sistema Principal (Raspberry Pi modelo B rev 2)	42
2.4.1.	Conexión y configuración de pantalla LCD Nokia 5110/3310.	43
2.4.2.	Conexión teclado digital.	46
2.4.3.	Configuración RTC DS1307 en Raspberry Pi.....	47
2.4.4.	Diseño del circuito para sub-Sistema principal.	50
2.4.5.	Diseño del sistema HMI/SCADA del sub-sistema principal.....	54
2.5.	Sub-Sistema 1: Anemómetro, humedad y temperatura (Sensor RHT03).	56
2.5.1.	Montaje de sensor RHT03.	56
2.5.2.	Montaje para pinza de corriente.....	57
2.5.3.	Diseño circuito para prototipo sub-Sistema 1.....	58
2.5.4.	Diseño del circuito para lectura de sensor de efecto Hall.....	60
2.6.	Sub-Sistema 2 y 3: Medidor de potencia (monofásica y trifásica).	63
2.6.1.	Cálculo de resistencia de carga para transformador de corriente.....	64
2.6.2.	Circuito de acoplamiento para medición de corriente.	65
2.6.3.	Circuito de acoplamiento para medición de tensión.	66
2.6.4.	Circuito prototipo de medidor de potencia (sub-Sistema 2).	67
3.	PRUEBAS Y RESULTADOS.....	71
3.1.	Instalación y uso de sub-sistemas medidor EER.....	71
3.2.	Resultados de las mediciones.....	74
3.2.1.	Sitios de prueba.....	74
	RECOMENDACIONES.	80
	CONCLUSIONES.....	81
	BIBLIOGRAFÍA.	82
	ANEXOS.....	84

Lista de figuras.

Figura 1.1-1. Esquema de sistema de refrigeración convencional [17].	1
Figura 1.1-2. Ciclo de refrigeración por absorción [19].	3
Figura 1.1-3. Condensador enfriado por aire (más común en el mercado) [22].	5
Figura 1.1-4. Esquema del interior de una unidad de AA de ventana [11].	7
Figura 1.1-5. Unidad de AA tipo Split [25].	8
Figura 1.1-6. Unidad de AA tipo Cassette [16].	8
Figura 1.1-7. Unidad de AA tipo multi-split [16].	9
Figura 1.1-8. Unidad de AA con sistema de conductos [16].	9
Figura 1.2-1. Diagrama de Mollier [23].	10
Figura 1.2-2. Ciclo máquina de acondicionamiento de aire como bomba de calor [23].	10
Figura 1.3-1. Representación de las toneladas de refrigeración [11].	13
Figura 1.3-2. Variables medidas para el cálculo del EER en unidad de AA [11].	14
Figura 1.3-3. Ejemplo de carta psicrométrica [26].	16
Figura 1.3-4. Esquema de cálculo del EER.	18
Figura 1.4-1. Posición correcta de difusores para medición [23].	19
Figura 1.4-2. Indicaciones para medir área de una unidad AA tipo ventana [23].	20
Figura 1.4-3. Medición del largo de una unidad aire acondicionado tipo Split [23].	20
Figura 1.4-4. Medición del ancho de una unidad aire acondicionado tipo Split [23].	20
Figura 1.4-5. Distancia de medición de temperatura y humedad relativa [23].	21
Figura 1.4-6. Distancia de medición de temperatura y humedad relativa [23].	21
Figura 1.4-7. Medición velocidad del flujo de aire [23].	22
Figura 2.1-1. Sistema solución propuesta medidor EER.	23
Figura 2.1-2. Esquema de Sub-Sistemas que conforman unidad de medidor EER.	24
Figura 2.2-1. Raspberry Pi modelo B rev 2 [5].	25
Figura 2.2-2. Arduino Mega 2560 [4].	27
Figura 2.2-3. Arduino UNO rev 3 [4].	29
Figura 2.2-4. Módulo WiFi ESP8266 a) versión 5, b) versión 1 [18].	30
Figura 2.2-5. Conexión módulo ESP8266 mediante convertidor de niveles lógicos [18].	32
Figura 2.2-6. Pantalla LCD Nokia 5110/3310 con controlador PCD8544 [2].	32
Figura 2.2-7. Conexión LCD Nokia fabricada por SparkFun.	33
Figura 2.2-8. Conexión LCD Nokia de fabricación genérica.	34
Figura 2.2-9. Circuito típico de operación del RTC DS1307 [10].	35
Figura 2.2-10. Sensor de temperatura y humedad relativa RHT03 [1].	36
Figura 2.2-11. Esquema de conexión señor RHT03 con microcontrolador.	37
Figura 2.2-12. Señor de corriente no invasivo SCT016 [24].	37
Figura 2.2-13. Esquema de señor de corriente SCT016 [24].	38
Figura 2.2-14. Empaquetado y descripción de pines señor US1881 [7].	39
Figura 2.2-15. Esquema de funcionamiento sensor U1881 [7].	40
Figura 2.3-1. Proceso de comunicación, envió de solicitudes y recepción de datos.	41
Figura 2.4-1. Esquema de funcionamiento del Sub-Sistema Principal.	42
Figura 2.4-2. Pines GPIO conectados con la pantalla LCD [8].	43
Figura 2.4-3. Ejecución del ejemplo “shapes.py” [8][8].	46
Figura 2.4-4. Conexión pulsador para obtener estados digitales.	46
Figura 2.4-5. Salida ideal y salida real del circuito de la Figura 2.4-4.	47
Figura 2.4-6. Conexión RTC DS1307 con Raspberry Pi.	48

Figura 2.4-7. Detección del RTC DS1307 conectado al bus I2C.....	48
Figura 2.4-8. Respuesta del RTC cuando se le interroga por la hora.	49
Figura 2.4-9. Hora del sistema en el RTC.	49
Figura 2.4-10. Contenido del archivo modules.....	50
Figura 2.4-11. Diseño circuito para sub-Sistema principal.....	51
Figura 2.4-12. Parte frontal sub-sistema principal (leds indicadores).	51
Figura 2.4-13. Parte trasera sub-sistema principal (orificios de ventilación).....	52
Figura 2.4-14. Parte lateral izquierda (batería RTC, tarjeta SD, Fuente).....	52
Figura 2.4-15. Parte lateral derecha (puertos USB y conector RJ45).	52
Figura 2.4-16. Parte inferior sub-sistema principal (puerto serial, HDMI).....	53
Figura 2.4-17. Convertidor USB a RS232 dlp-usb232m [27].	53
Figura 2.4-18. Configuración dlp-usb232m para operar a un nivel lógico de 3.3V [27].....	53
Figura 2.4-19. Adaptador y cable para terminal serial.	54
Figura 2.4-20. Diseño del sistema HMI/SCADA medidor EER.	54
Figura 2.4-21. Presentación HMI sistema SCADA diseñado.....	55
Figura 2.5-1. Esquema funcionamiento unidad 1.....	56
Figura 2.5-2. Conector hembra tipo Jack 3.5mm Stereo.	57
Figura 2.5-3. . Configuración usada para espiga macho tipo plug 3.5mm Stereo.....	57
Figura 2.5-4. Montaje sensor RHT03 con cable de 1.5 metros.	57
Figura 2.5-5. . Configuración de la espiga tipo plug 3.5mm de la pinza de corriente.	58
Figura 2.5-6. Conector hembra tipo plug 3.5mm para mono-Stereo.	58
Figura 2.5-7. Diseño circuito sub-Sistema 1.	59
Figura 2.5-8. Parte frontal sub-sistema 1 (LCD y teclado).	60
Figura 2.5-9. Parte lateral sub-sistema 1 (puerto USB y fuente).	60
Figura 2.5-10. Circuito para sensor de efecto Hall U1881 [7].	61
Figura 2.5-11. Diseño de circuito para lectura de sensor hall en anemómetro.	61
Figura 2.5-12. Circuito final y conexión anemómetro digital.....	62
Figura 2.6-1. Esquema de unidad de medición de potencia.....	63
Figura 2.6-2. Transformador de corriente con resistencia de carga en paralelo [24].....	64
Figura 2.6-3. Circuito de acoplamiento de pinza de corriente.....	65
Figura 2.6-4. Funcionamiento del circuito de acoplamiento de la Figura 2.6-3 [12].	65
Figura 2.6-5. Circuito de acoplamiento medidor Voltaje.....	66
Figura 2.6-6. Algoritmo utilizado para el cálculo de V_{rms} , I_{rms} , y potencia real.....	67
Figura 2.6-7. Diseño de circuito para teclado digital sub-sistema 2 y 3.....	68
Figura 2.6-8. Diseño de circuito para medidor de potencia (sub-sistema 2y 3).	69
Figura 2.6-9. Parte frontal sub-sistema 2 (LCD, teclado y led's indicadores).....	70
Figura 2.6-10. Parte superior sub-sist.2 (conectores CT y pinzas caimán para voltaje).	70
Figura 2.6-11. Parte lateral izquierda sub-sis.2 (antena, USB y fuente).....	70
Figura 3.1-1. Configuración terminal serial en putty sistema Windows.	71
Figura 3.1-2. Configuración terminal serial en putty en sistema Linux.....	71
Figura 3.1-3. Menú del script de configuración del medidor EER.....	72
Figura 3.1-4. Sub-sistema principal en funcionamiento.	72
Figura 3.1-5. Conexión sub-sistema 2 (medición de potencia).	73
Figura 3.1-6. Instalación de sensores de humedad y temperatura y anemómetro.	73
Figura 3.1-7. Sub-sistema 1 para mediciones de humedad, temperatura y velocidad flujo de viento.	74
Figura 3.2-1. Aire acondicionado tipo split instalado en el laboratorio de telemática.	75
Figura 3.2-2. Gráfico de datos relación de eficiencia energética de la Tabla 3.2.1.	76

Figura 3.2-3. Aire acondicionado tipo ventana instalado en el cubículo de docentes.....	77
Figura 3.2-4. Gráfico delos datos de la relación de eficiencia energética (EER) de la Tabla 3.2.2.....	78
Anexo.	
Figura A 1. Raspberry Pi modelo B rev2 [6].	84
Figura A 2. Ejecución de programa fedora-arm-instaler-2 [6].	84
Figura A 3. Ventana principal fedora-arm-instaler-2 [6].	85
Figura A 4. Selección de imagen de Raspbian [6].	85
Figura A 5. Finalización del proceso de instalación [6].	85
Figura A 6. Salida del comando 'ifconfig' con adaptador WiFi configurado.	87
Figura A 7. Contenido archivo raspi-blacklist.conf.	87
Figura A 8. Lista de dispositivos SPI encontrados.	88
Figura A 9. Pantalla de configuración raspi-config.	88
Figura A 10. Pantalla de la opción: Advanced Options.	89
Figura A 11. Dialogo de confirmación para activar interface I2C.....	89
Figura A 12. Dialogo para confirmar módulo I2C al arranque.	89
Figura A 13. Contenido archivo "modules".	89
Figura A 14. Resultados de la prueba de detección de la interface I2C.	91

Lista de tablas.

Tabla 1.1.1. Ventajas y desventajas de las sustancias pares en sistemas de absorción	4
Tabla 2.2.1. Características Raspberry Pi modelo B rev 2.	25
Tabla 2.2.2. Descripción pines GPIO.	26
Tabla 2.2.3. Valores de revisión de la Raspberry Pi.	27
Tabla 2.2.4. Especificaciones técnicas.	28
Tabla 2.2.5. Descripción de pines de alimentación.	28
Tabla 2.2.6. Especificaciones técnicas.	29
Tabla 2.2.7. Descripción de pines de alimentación.	30
Tabla 2.2.8. Descripción de pines del Arduino UNO (Atmega328)	30
Tabla 2.2.9. Descripción de pines LCD Nokia 5110/3310.	33
Tabla 2.2.10. Características eléctricas.....	36
Tabla 2.2.11. Parámetros básicos.....	38
Tabla 2.2.12. Descripción de pines.	39
Tabla 2.2.13. Parámetros de operación DC Ta=25°C, VDD=3.5V a 24V.	40
Tabla 2.4.1. Pines GPIO utilizadas para teclado digital.	47
Tabla 2.4.2. Conexión entre Raspberry Pi con DS1307.....	48
Tabla 2.4.3. Descripción de uso de pines P1 Header Raspberry P modelo B rev2.	50
Tabla 2.5.1. Descripción de uso de pines Arduino UNO.	58
Tabla 2.6.1. Descripción de uso de pines Arduino MEGA2560.	68
Tabla 3.2.1. Resultados de las mediciones del aire de la Figura 3.2-1.	75
Tabla 3.2.2. Resultados de las mediciones del aire acondicionado de la Figura 3.2-3.....	77

INTRODUCCIÓN

En el pasado se ponía poca atención, en general, a la conservación de la energía empleada por los sistemas de calefacción, ventilación y acondicionamiento de aire, debido al costo relativamente bajo del combustible. Los aumentos bruscos de los precios y la preocupación acerca de escasez de combustibles han cambiado esta situación, además del impacto medio ambiental. Ya no es opcional el empleo de estudios de energía y técnicas de conservación, por parte del diseñador, contratista o personal de operación en el campo del acondicionamiento del aire.

En el cálculo del EER se deben realizar diversas mediciones puntuales instantáneas tales como voltaje, corriente, temperatura, velocidad de flujo del aire y humedad relativa, donde intervienen una cantidad considerable de equipos de medición: termómetro, higrómetro, anemómetro, amperímetro, voltímetro; introduciendo así el error debido al operador. Con el prototipo que propongo se obtienen resultados de la variación del EER de forma automática durante un periodo prolongado; este periodo corresponde al tiempo de funcionamiento que la máquina de climatización permanece en operación dando como resultado la medida de eficiencia energética promedio. Al final se reduce la intervención humana en la toma de datos, reduciendo drásticamente el error debido al operador. Analizando los datos obtenidos se puede estimar si la máquina de climatización requiere un mantenimiento preventivo, reduciendo así el costo energético y el impacto ambiental que puede ocasionar una máquina de climatización operando de forma incorrecta.

OBJETIVOS.

GENERAL:

Construir un Medidor de Eficiencia Energética para aires acondicionados de expansión con monitoreo remoto SCADA.

ESPECIFICOS:

- Desarrollar la construcción de un prototipo de medidor que calcule el EER, que se adapte a los distintos tipos de aires acondicionados de expansión; y que sea capaz de mostrar los resultados en tiempo real en una pantalla y de forma remota mediante un pequeño sistema SCADA. Además de almacenar los datos de las mediciones para posterior análisis.
- Realizar un medidor de potencia, que transmita los datos de forma remota por medio del estándar 802.11 (WIFI).
- Familiarizarse con alguno de los estándares y normas vigentes que rigen la operación de los aires acondicionados.
- Elaborar y desarrollar la instrumentación necesaria para el monitoreo de las variables físicas que intervienen en el cálculo de la relación de eficiencia energética de un aire acondicionado.
- Desarrollar un pequeño sistema SCADA para el monitoreo en tiempo las mediciones realizadas; así como el cálculo de EER.
- Crear la base de datos para el almacenamiento de las mediciones y cálculos para análisis posteriores.

ALCANCES.

Se pretende desarrollar un prototipo de medidor, que monitoreando variables físicas, tales como temperatura, velocidad del aire, humedad relativa, potencia eléctrica consumida; este me calcule la relación de eficiencia energética o EER de una unidad de aire acondicionado de expansión. Los datos de las mediciones se muestran al conectarse de manera remota al medidor por medio de un navegador web; para acceder al sistema SCADA. Las lecturas serán almacenadas en una base de datos para posteriores análisis, gráficos, etc. La tolerancia de los resultados serán limitados por la capacidad de los dispositivos seleccionados para la construcción del medidor.

ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS.

AC: Alternating Current (Corriente Alterna)

DC: Direct Current (Corriente Directa)

ASHRAE: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning

BTU: British Thermal Unit (Unidad térmica Británica)

C: Celsius

K: Kelvin

COP: Coefficient of Performance (Coeficiente de desempeño)

EER: Relación de Eficiencia Energética

kVA : kiloVolt-Ampere

kW: kilowatt

kWh: kilowatt-hora

W: Watt

IC: Integrated Circuit

m: Metros

RTC: Real Time Clock

NTP: Network Time Protocol

AA: Aire Acondicionado

Va: Velocidad de aire a la salida del evaporador

Aa: Área en metros del evaporador

SCADA: Supervisory Control And Data Acquisition (Supervisión, Control y Adquisición de Datos)

pA: Presión Atmosférica

Qsen: Calor sensible

Qlat: Calor Latente

pa: densidad del aire

we: Relación de humedad específica de entrada

ws: Relación de humedad específica de salida

Te: Temperatura de entrada en °C

Ts: Temperatura de salida en °C

He: Humedad relativa de entrada

Hs: Humedad relativa de salida

Pe: Potencia de entrada o potencia eléctrica total consumida por la unidad de AA

ma: Flujo de aire a la salida del evaporador

RMS: Root Mean Square

Irms: Corriente RMS

Vrms: Voltaje RMS

Cpa: Calor específico del aire

TR: Tonelada de refrigeración

Ps: Presión de saturación

LCD: Liquid Crystal Display

USB: Universal Serial Bus
PC: Personal Computer
ADC: Analog to Digital Converter
PCB: Printed Circuit Board
TCP: Transmission Control Protocol
IP: Internet Protocol
MB: Mega Byte
GPIO: General Purpose Input/Output
I2C: Interface to Communicate
SPI: Serial Peripheral Interface
SD: Secure Digital
WiFi: Wireless Fidelity
SDA: System Data
SCL: System Clock
SSID: Service Set Identifier
HMI: Human-Machine interface (interface humano-maquina)
GUI: Graphical User Interface
WEP: Wired Equivalent Privacy
WPA: WiFi Protected Access

1. REFERENCIA TEÓRICA.

1.1. Sistemas de refrigeración aire acondicionado: compresión y absorción.

La refrigeración es el proceso que se emplea en los aparatos acondicionamiento de aire el cual consiste en extraer calor de una habitación. Lo que se hace es transportar calor una zona a otra para producir frío. De esta manera, el lugar al cual se le retira el calor se enfría.

De igual forma que se puede aprovechar diferencias de temperatura para producir calor, para crear diferencias de calor, se necesita energía. Usualmente la refrigeración por aire acondicionado se produce mediante dos sistemas de refrigeración: refrigeración por compresión y refrigeración por absorción.

1.1.1. Sistema de refrigeración por compresión.

El sistema habitual de refrigeración y el más utilizado en los sistemas de acondicionamiento de aire, es el sistema de refrigeración por compresión. Mediante la aplicación de energía mecánica se comprime el gas refrigerante. Al condensar, este gas emite el calor latente que antes, al evaporarse, había absorbido el mismo refrigerante a un nivel de temperatura inferior. Para sostener este ciclo se emplea energía mecánica, generalmente mediante energía eléctrica. Dependiendo de los costos de la electricidad, este proceso de refrigeración podría ser muy costoso.

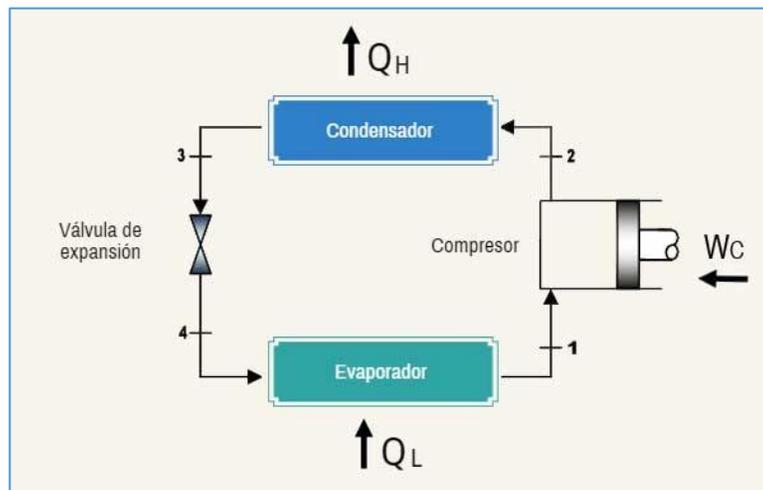


Figura 1.1-1. Esquema de sistema de refrigeración convencional [17].

Un ciclo simple de refrigeración consta de cuatro procesos fundamentales: la regulación, la evaporación, la compresión, y la condensación.

1. La regulación:

- El ciclo de regulación ocurre entre el condensador y el evaporador, en efecto, el refrigerante líquido entra en el condensador con una alta presión y con una alta temperatura, y se conduce al evaporador a través del regulador.
- La presión del líquido se reduce a la presión de evaporación cuando el líquido cruza el regulador, entonces la temperatura de saturación del refrigerante entra en el evaporador y será aquí donde se enfría.
- Una parte del líquido se evapora cuando cruza el regulador con el objetivo de bajar la temperatura del refrigerante a la temperatura de evaporación.

2. La evaporación:

- En el evaporador, el líquido se vaporiza a presión y temperatura constantes gracias al calor latente suministrado por el refrigerante que cruza el espacio del evaporador. Todo el refrigerante se vaporiza completamente en el evaporador, y se recalienta al final del evaporador.
- Aunque la temperatura del vapor aumenta un poco al final del evaporador debido al sobrecalentamiento, la presión se mantiene constante.
- Aunque el vapor absorbe el calor del aire alrededor de la línea de aspiración, aumentando su temperatura y disminuyendo ligeramente su presión debido a las pérdidas de cargas a consecuencia de la fricción en la línea de aspiración, estos detalles no se tiene en cuenta cuando uno explica el funcionamiento de un ciclo de refrigeración normal.

3. La compresión:

- Por la acción del compresor, el vapor resultante de la evaporación es aspirado por el evaporador por la línea de aspiración hasta la entrada del compresor. En el compresor, la presión y la temperatura del vapor aumenta de forma considerable gracias a la compresión, entonces al vapor a alta temperatura y a alta presión es devuelto por la línea de expulsión.

4. La condensación:

- El vapor atraviesa la línea de expulsión hacia el condensador donde es liberado el calor hacia el aire exterior. Una vez que el vapor ha suprimido su calor adicional, su temperatura se reduce a su nueva temperatura de saturación que corresponde a su nueva presión. En la liberación de su calor, el vapor se condensa completamente y entonces es enfriado. El líquido enfriado llega al regulador y está listo para iniciar un nuevo ciclo.

1.1.2. Sistema de refrigeración por absorción.

El otro método de refrigeración es por absorción. Este método se suele utilizar solamente cuando hay una fuente de calor residual o barato, ya que la producción de frío es mucho más económica y ecológica, aunque su rendimiento es bastante menor. En este tipo sistemas la

energía suministrada es, en primer lugar, energía térmica. El refrigerante no es comprimido mecánicamente, sino absorbido por un líquido solvente en un proceso exotérmico y transferido a un nivel de presión superior mediante una simple bomba. La energía que se necesita para aumentar la presión de un líquido mediante una bomba es despreciable en comparación con la energía necesaria para comprimir un gas en un compresor. A una presión superior, el refrigerante es evaporado desorbido del líquido solvente en un proceso endotérmico, o sea mediante calor. Entonces desde este punto, el proceso de refrigeración es igual al de un sistema de refrigeración por compresión. Debido a esto, al sistema de absorción y desorción se le llama también "compresor térmico".

En este sistema de refrigeración por absorción, al igual que en el de compresión se aprovecha que ciertas sustancias absorben calor al cambiar de estado líquido a gaseoso. En el caso de los ciclos de absorción se basan físicamente en la capacidad de absorber calor que tienen algunas sustancias, tales como el agua y algunas sales como el bromuro de litio, al disolver, en fase líquida, vapores de otras sustancias tales como el amoníaco y el agua, respectivamente. Más en detalle, el refrigerante se evapora en un intercambiador de calor, llamado evaporador, el cual enfría un fluido secundario, para acto seguido recuperar el vapor producido disolviendo una solución salina o incorporándolo a una masa líquida. El resto de componentes e intercambiadores de calor que configuran una planta frigorífica de absorción, se utilizan para transportar el vapor absorbido y regenerar el líquido correspondiente para que la evaporación se produzca de una manera continua.

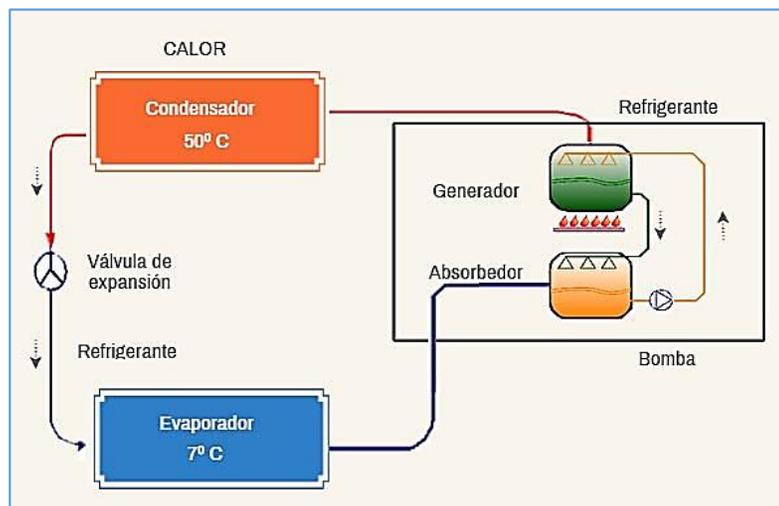


Figura 1.1-2. Ciclo de refrigeración por absorción [19].

Los sistemas de refrigeración por absorción se diferencian por dos circuitos, el circuito del refrigerante entre compresor térmico, condensador y evaporador, y el circuito del solvente entre el absorbedor y el separador. Una ventaja notable de los sistemas de absorción es que el refrigerante no es un fluoroclorocarbono.

Ventajas e inconvenientes de la refrigeración por absorción.

El rendimiento en los sistemas por absorción es inferior que en el método por compresión, sin embargo en algunos casos compensa el que la energía proveniente de una fuente calorífica sea más económica, incluso residual o un subproducto destinado a desecharse. También hay que tener en cuenta que el sistema de compresión, utiliza normalmente la energía eléctrica, y cuando ésta llega a la toma de corriente lo hace con un rendimiento inferior al 25% sobre la energía primaria utilizada para generarla, lo que reduce mucho las diferencias de rendimiento. Al calor aportado al proceso de refrigeración se le suma el calor sustraído de la zona enfriada. Con lo que el calor aplicado puede volverse a reutilizar. Sin embargo, el calor residual se encuentra a una temperatura más baja (a pesar de que la cantidad de calor sea mayor), con lo que sus aplicaciones pueden reducirse.

Las unidades de acondicionamiento de aire son más grandes y requieren inmovilidad (lo que no permite su utilización en automóviles).

Tabla 1.1.1. Ventajas y desventajas de las sustancias pares en sistemas de absorción

Agua / Bromuro de Litio (LiBr)	
Ventajas	Inconvenientes
El refrigerante agua tiene una alta capacidad calorífica	El sistema no puede enfriar a temperaturas menores del punto de congelación de agua
La solución de bromuro de litio no es volátil	El bromuro de litio es solvente en agua sólo limitadamente
Las sustancias no son tóxicas ni inflamables	El vacío demanda una alta impermeabilidad del sistema
Amoniaco (NH₃) / Agua	
Ventajas	Inconvenientes
El refrigerante amoniaco tiene una alta capacidad calorífica	Presión muy alta del refrigerante (tuberías más gruesas)
Aplicaciones de temperaturas muy bajas, hasta -60°C	Volatilidad del solvente (es necesaria una rectificación)
Propiedades muy buenas de transferencia de calor y masa	Toxicidad del amoniaco

1.1.3. Partes de una unidad de aire acondicionado.

Evaporador.

En los sistemas frigoríficos el evaporador opera como intercambiador de calor, por cuyo interior fluye el refrigerante el cual cambia su estado de líquido a vapor. Este cambio de estado permite absorber el calor sensible contenido alrededor del evaporador y de esta manera el gas, al abandonar el evaporador lo hace con una energía interna notablemente superior debido al aumento de su entalpía, cumpliéndose así el fenómeno de refrigeración. El flujo de refrigerante en estado líquido es controlado por un dispositivo o válvula de expansión la cual

genera una abrupta caída de presión en la entrada del evaporador. Los fabricantes desarrollan y producen evaporadores de diseños y formas diferentes para llenar las necesidades de futuros usuarios.

Tipos de evaporador:

Según la alimentación del refrigerante:

- De expansión directa o expansión seca (más comunes en el mercado)
- Inundados
- Sobrealimentados

Según el tipo de construcción:

- Tubo descubierto
- Evaporadores aleteados

Condensador.

El componente mayor en el sistema de refrigeración que sigue a la etapa de compresión es el condensador. Básicamente el condensador es otra unidad de intercambio de calor en el cual el calor es extraído por el refrigerante en el evaporador y también añadido al vapor en la fase de compresión (Figura 1.1-3).



Figura 1.1-3. Condensador enfriado por aire (más común en el mercado) [22].

La misión del condensador es remover calor del evaporador y el calor de compresión para condensar el refrigerante a su estado líquido. Pueden ser de similar construcción a los evaporadores, pero se reconocen por tener un mayor tamaño.

Lo condensadores pueden ser:

- Enfriados por agua: El refrigerante se enfría con un flujo de agua, que puede ser a su vez enfriado por otros medios.
- Enfriados por aire: Se utiliza aire a temperatura ambiente (Convección natural o Convección forzada). Son menos eficientes que los enfriados por agua, pero más baratos y son los más usados a nivel residencial y comercial.

- Evaporativos: Es una combinación de enfriado por agua y aire, ya que aprovecha el efecto de enfriamiento al evaporar agua en un flujo de aire, son de buena eficiencia pero son costosos en compra así como en mantenimiento.

Compresor.

El compresor de A/C o bomba de calor tiene la función de comprimir el gas (fluido refrigerante) que permite en un ciclo de compresión/descompresión producir una transferencia de calor de una parte a otra de un circuito frigorífico. En efecto, cuando se comprime un gas, se calienta y al contrario, cuando se libera, su temperatura se reduce. El compresor de A/C funciona con energía eléctrica. Un compresor eficiente hace más eficiente al aparato de A/C desde el punto de vista del consumo de energía.

- Los compresores pueden ser de distintos tipos:
- Compresor scroll o centrífugo.
- Compresor swing, rotativo o giratorio.
- Compresor de Tornillo.
- Compresor alternativo o de pistón.
- Compresor invertir.

La válvula de expansión.

La válvula de expansión regula el flujo de refrigerante mediante la compresión o expansión de acuerdo a la cantidad de presión que tu aparato de A/C necesita para vaporizar con eficacia el refrigerante en su interior. A medida que se contrae, fluye menos refrigerante en las bobinas del evaporador. El lado caliente de las bobinas del refrigerante crea una presión que hace que el refrigerante dentro de ésta tenga una tendencia a moverse más rápido. El refrigerante que pasa más tiempo en las bobinas del evaporador se enfría a una temperatura más baja ya que el calor se transfiere al refrigerante que se encuentra dentro de las bobinas.

Partes y accesorios.

- La Mirilla (Visor): Las mirillas para el refrigerante pueden estar situadas en cualquier punto donde resulte útil. Cuando se instala una de estas mirillas justo antes del dispositivo de expansión, los técnicos pueden verificar que una columna continua de líquido llega al dispositivo de expansión. Cuando se instalan en la unidad de condensación, puede ayudar en las tareas de diagnóstico.
- Receptores: Se localiza en el conducto de líquido y se emplea para almacenar el refrigerante líquido después de que abandona el condensador. El receptor debe estar situado en una posición más baja que el condensador para que el refrigerante tenga un incentivo para fluir hacia él de manera natural. El receptor es un dispositivo en forma de tanque que puede estar situado de forma vertical u horizontal.

- Válvula Maestra del receptor: Esta se localiza en el conducto de líquido que va del receptor a la válvula de expansión. Tiene importancia de cara al mantenimiento porque, cuando el mecanismo de la válvula está en posición frontal, el refrigerante no puede salir del receptor. Si se opera con el compresor con esta válvula cerrada, todo el refrigerante será bombeado hacia el condensador y el receptor.
- Filtro Secador: Puede estar situado en cualquier lugar del conducto de líquido, después de la válvula maestra. Es un dispositivo que elimina contaminantes del refrigerante, que pueden ser suciedad, fundente utilizado en las operaciones de soldadura, partículas de suelta, limaduras, humedad, piezas sueltas o ácido causado por la humedad. Estas operaciones de filtrado y secado se realizan con una serie de materiales incluidos en el dispositivo.

1.1.4. Tipos de unidades de aire acondicionado.

Aire acondicionado tipo ventana.

Este tipo de unidad se instala sobre el marco de una ventana o se instala realizando un boquete en una pared. Es de las instalaciones relativamente más fácil de hacer. Una caja cuadrada contiene todas las partes funcionales del sistema descritas anteriormente. Una vez instalado una mitad del aparato queda en el exterior y la otra mitad en el interior de la habitación. El condensador está situado en la sección del gabinete que queda fuera. El ventilador del aparato fuerza el aire exterior por encima del condensador. Adentro de la habitación, otro ventilador extrae el aire a través de un filtro y lo fuerza sobre el evaporador.

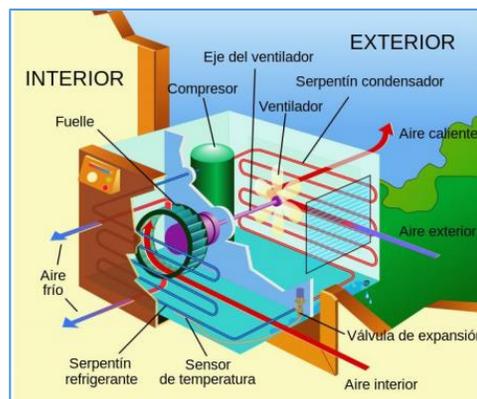


Figura 1.1-4. Esquema del interior de una unidad de AA de ventana [11].

Aire acondicionado Split.

Un equipo de aire acondicionado tipo split de uso doméstico tiene una clara división de dos unidades, una interior y el exterior, y ambas son importantes como se muestra en la Figura 1.1-5.

Estos dos dispositivos están conectados entre sí mediante un circuito de tubería por donde corre el gas que genera el frío bajo presión.



Figura 1.1-5. Unidad de AA tipo Split [25].

Estas tuberías tienen dentro un refrigerante llamado freón. La unidad exterior tiene un compresor donde se comprime el freón y sale del cilindro a gran presión y temperatura. A continuación, pasa a través de un condensador donde el gas es enfriado y licuado, ya que el mismo es líquido a baja presión y temperatura. Posteriormente, pasa a través de la válvula donde el líquido se expande y se pierde presión y temperatura para pasar a ser gasificadas posteriormente en el evaporador. El refrigerante es el medio donde las moléculas de gas intercambian su temperatura con el tubo de calor, luego se enfría y permiten enfriar el aire que pasa por fuera y el aire que se está enfriando la habitación.

Aire acondicionado cassette.

La unidad interior se instala empotrada en el techo. Generalmente es utilizado para climatizar espacios amplios como oficinas o locales comerciales ya que cuenta con más potencia que un Split mural y sus cuatro salidas de aire abarcan más espacio a refrigerar.



Figura 1.1-6. Unidad de AA tipo Cassette [16].

Aire acondicionado multisplit.

Se trata de un sistema split con varias unidades interiores, lo que permite acondicionar varias estancias o un local de gran tamaño con una sola unidad exterior.

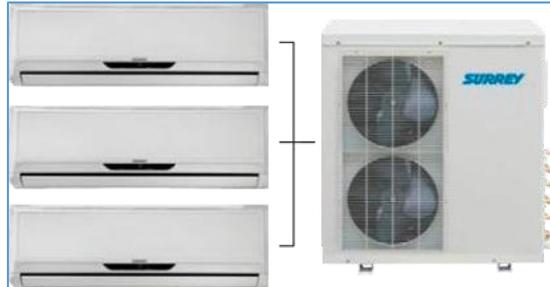


Figura 1.1-7. Unidad de AA tipo multi-split [16].

Aire acondicionado de conductos.

Es un sistema de aire acondicionado, generalmente centralizado, que se encastra en el falso techo del local o vivienda. La distribución del aire frío (o caliente si se trata de una bomba de calor reversible) se lleva a cabo mediante conductos ocultos también en el falso techo que terminan en unas rejillas estratégicamente colocadas y generalmente regulables por donde sale el flujo del aire.

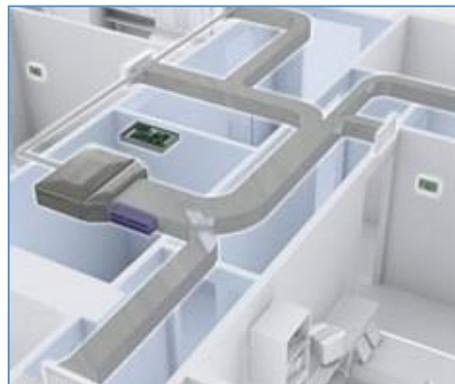


Figura 1.1-8. Unidad de AA con sistema de conductos [16].

Bomba de calor reversible.

Es un dispositivo termodinámico que toma el calor presente en un medio (por ejemplo el aire, el agua, la tierra) para transferirlo hacia otro de mayor nivel de temperatura (por ejemplo en un local para calentarlo). Generalmente, para el funcionamiento de la bomba de calor, se utiliza un sistema termodinámico por compresión. Tiene capacidad de aportar tanto frío como calor cuando se necesite.

1.2. Coeficientes de rendimiento (COP) y eficiencia energética en el ciclo de refrigeración (EER) de la bomba de calor.

El objeto de las siguientes líneas es ayudar a comprender el concepto de rendimiento, su aplicación a los equipos de aire acondicionado domésticos (bomba de calor reversible), describir los coeficientes que se utilizan para medir los rendimientos teóricos de esos equipos y su utilidad práctica. Para entender el concepto de rendimiento, un principio básico debe ser tenido en cuenta. En la naturaleza no existen procesos ideales y por lo tanto el rendimiento, o eficiencia, de un proceso real es siempre inferior a la unidad, y esto es, porque en la transformación que lleva a cabo la máquina, se producen invariablemente pérdidas mecánicas por rozamiento y pérdidas de calor en las superficies de intercambio con el ambiente exterior. El rendimiento de una máquina se puede definir de forma general como el cociente entre la energía o el trabajo útil producido por esa máquina, y la energía o el trabajo externo que debe aplicarse a la misma para que produzca el trabajo o el calor que se le demanda.

De acuerdo con el principio anterior, el número adimensional que mide este rendimiento es siempre inferior a uno. Sin embargo cuando se trata de equipos de aire acondicionado, reversibles o no, en todos los casos, el rendimiento publicado por los fabricantes es siempre superior a la unidad. ¿A qué se debe esta aparente excepción a la regla? Para explicar esto, es necesario entender que el funcionamiento de la gran mayoría de estos equipos se basa en las propiedades termodinámicas de un gas refrigerante al que se somete a un proceso cíclico cerrado, ciclo frigorífico, de compresión, condensación, expansión y evaporación. El diagrama de Mollier de cada gas frigorífico muestra el comportamiento de ese gas a lo largo de las diferentes etapas del ciclo, y muestra las aportaciones de energía que se realizan y las prestaciones térmicas que se obtienen en cada etapa del ciclo de funcionamiento de la máquina.

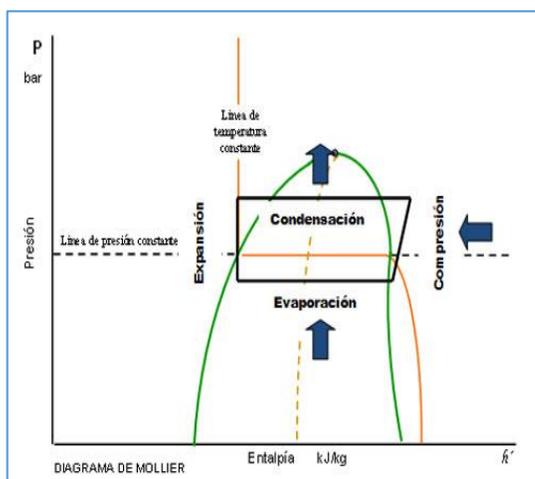


Figura 1.2-1. Diagrama de Mollier [23].

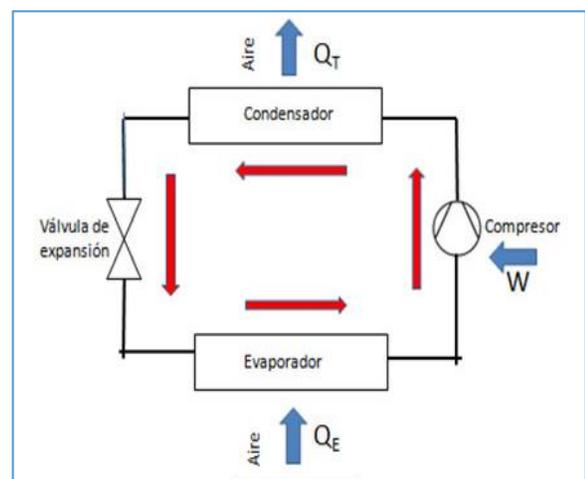


Figura 1.2-2. Ciclo máquina de acondicionamiento de aire como bomba de calor [23].

Como puede comprobarse en la Figura 1.2-2, funcionamiento en modo calefacción, es decir como bomba de calor, la energía que se aporta desde el exterior está formada por la energía eléctrica, W , de accionamiento del compresor, y por la aportación gratuita del aire exterior, Q_E . (Bomba de calor aerotérmica).

La energía entregada por el equipo Q_T , es, en consecuencia y simplificando, es decir no teniendo en cuenta las pérdidas antes citadas, la suma de ambas aportaciones.

Por lo tanto el **rendimiento $\eta = Q_T/W$ siendo ($Q_T = Q_E + W$)**, es obviamente mayor que uno. De manera similar se puede formular el rendimiento en modo refrigeración, aunque lógicamente al producirse la inversión del ciclo, equipo reversible, las presiones de condensación y evaporación serían diferentes y por lo tanto el rendimiento. En cualquier caso este seguiría siendo superior a la unidad.

Para medir estos rendimientos se utilizan las siguientes cuatro definiciones: EER y SEER en modo refrigeración y COP y SCOP en modo calefacción. Siendo:

- EER (factor de eficiencia energética en modo refrigeración), se define como el cociente entre la potencia de refrigeración y la potencia eléctrica absorbida en unas condiciones específicas de temperatura con la unidad a plena carga.
- SEER (factor de eficiencia energética estacional), se define como la eficiencia energética estacional de una unidad, calculada para la demanda anual de refrigeración, determinada por unas condiciones climáticas específicas dadas en la norma UNE-EN 14825:2014.
- COP (coeficiente de eficiencia energética en modo calefacción) se define como el cociente entre la potencia de calefacción y la potencia eléctrica absorbida en unas condiciones específicas de temperatura con la unidad a plena carga.
- SCOP (Coeficiente de rendimiento estacional) se define como la eficiencia estacional de una unidad calculada para la demanda de calefacción anual de referencia.

Todas esas definiciones dan como resultado valores obtenidos a partir de cálculos o mediciones de laboratorio en unas condiciones de referencia que en contadas ocasiones se van a producir en el funcionamiento real de las máquinas. Por otro lado la gran diferencia entre ellas se produce cuando se utilizan valores estacionales (SEER y SCOP) dado que por definición en ambos casos se da una evaluación del rendimiento a partir de una demanda anual de referencia. Es decir no se mide o calcula un solo punto sino varios que pretenden aproximar el funcionamiento teórico al real.

En este sentido los valores SEER y SCOP son más ajustados a la realidad y de hecho han sustituido, en aplicación de los vigentes Reglamentos Europeos, a los antiguos valores EER y COP en los equipos de aire acondicionado.

Puesto que la eficiencia energética es función de las temperaturas de condensación y evaporación, es decir de las condiciones exteriores, y de la temperatura de consigna que el usuario elija en cada ocasión para satisfacer sus necesidades de confort, es evidente que a menos que el usuario disponga de una instalación de medida, no le será posible conocer el consumo real de su aparato ni sus prestaciones térmicas, por lo que difícilmente conocerá su rendimiento.

1.3. Teoría sobre cálculo del EER.

1.3.1. La relación de eficiencia energética (Energy Efficiency Ratio, EER).

El equipo de refrigeración y acondicionamiento de aire consume potencia y no la produce; es lo contrario de los motores de combustión. La eficiencia es una medida de la producción de potencia por un motor, y por lo tanto no tiene significado cuando se aplica a equipos que consumen energía. El coeficiente de funcionamiento (Coefficient of Performance, COP) es una medida útil definida de tal manera que mida y compare el funcionamiento del equipo de acondicionamiento de aire y de refrigeración.

$$COP = \frac{\text{Capacidad útil de enfriamiento}}{\text{Consumo equivalente de energía}} \quad (1)$$

El COP es una buena medida de la conservación de energía porque siempre se desea obtener la mayor cantidad de enfriamiento con un valor mínimo de consumo de energía. Otra medida de conservación de energía semejante al COP es la relación de eficiencia energética (Energy Efficiency Ratio, EER).

$$ERR = \frac{\text{Capacidad útil de enfriamiento en BTU/h}}{\text{Consumo de potencia, en Watts}} \quad (2)$$

La EER tiene exactamente los dos términos que el COP, pero se expresa en diferentes unidades. La EER se ha establecido porque es de uso y comprensión más fácil para el consumidor. Es requisito legal el que los fabricantes de equipos de aires acondicionados identifiquen la EER de sus productos. En resumen el EER es el cociente de la potencia térmica removida del ambiente entre la potencia eléctrica consumida por el equipo. La potencia térmica se mide en Btu/h y la eléctrica en watts resultando el EER en la razón de energía térmica removida contra la energía eléctrica consumida (Btu/W-h). El EER mínimo lo establece una norma de eficiencia energética y el valor depende de las capacidades de los equipos de A.A.

1.3.2. Unidades de potencia empleadas refrigeración.

BTU: La mayoría de los aires acondicionados tienen su capacidad nominal expresada en unidades térmicas Británicas o BTU's. Un Btu es la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de 1 libra (0,45 kilogramos) de agua en un grado Fahrenheit (0.56 grados Celsius).

Una Btu es igual a 1.055 julios. En el calentamiento y enfriamiento de términos, una tonelada es igual a 12,000 Btu. Por ejemplo un típico AA de ventana puede ser clasificado en 10,000 Btu. Tonelada de refrigeración: la tonelada de refrigeración (TRF) es la unidad nominal de potencia empleada en algunos países, especialmente de Norteamérica, para referirse a la capacidad de extracción de carga térmica (enfriamiento) de los equipos frigoríficos y de aire acondicionado. Puede definirse como la cantidad de calor latente absorbida por la fusión de una tonelada corta de hielo sólido puro en 24 horas; en los equipos, esto equivaldría a una potencia capaz de extraer 12 000 BTUs por hora, lo que en el Sistema Internacional de Unidades (SI) equivale a 3517W.

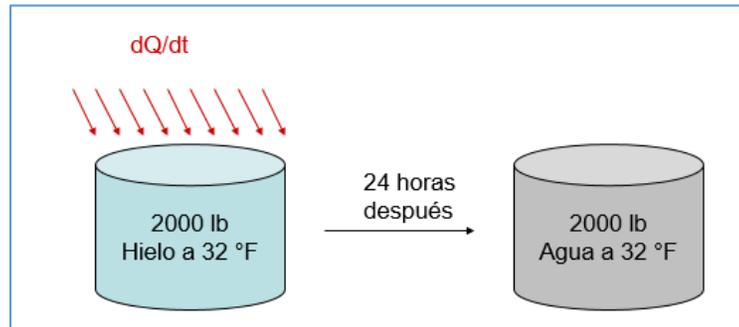


Figura 1.3-1. Representación de las toneladas de refrigeración [11].

Si partimos de que para convertir una libra de hielo en una libra de agua líquida se ocupan 144 BTU's, y de que una tonelada corta equivale a 2000 libras, al multiplicar 144×2000 , tenemos que durante el proceso se absorberán 288 000 BTUs del ambiente. A efecto de convertir este valor en una medida nominal, se consideró un período de 24 horas, por lo que al dividir los 288,000 BTUs por las 24 horas, el resultado es: $288,000/24 = 12,000$ BTU/h.

$$\dot{Q} = \frac{dQ}{dt} = (2000, \text{lb}) \times \left(144, \frac{\text{Btu}}{\text{lb}}\right) \times \frac{1}{24, \text{h}} = 12,000 \frac{\text{Btu}}{\text{h}} \quad (3)$$

1.3.3. Cálculo del EER de una unidad de Aire Acondicionado [14].

Para el cálculo del ERR de una unidad de AA de ventana se necesitan realizar las mediciones de algunos parámetros, tales como la velocidad del aire a la salida del evaporador, el área del ducto de salida, la temperatura de entrada y de salida del evaporador, así como la humedad relativa de entrada y salida y la potencia eléctrica.

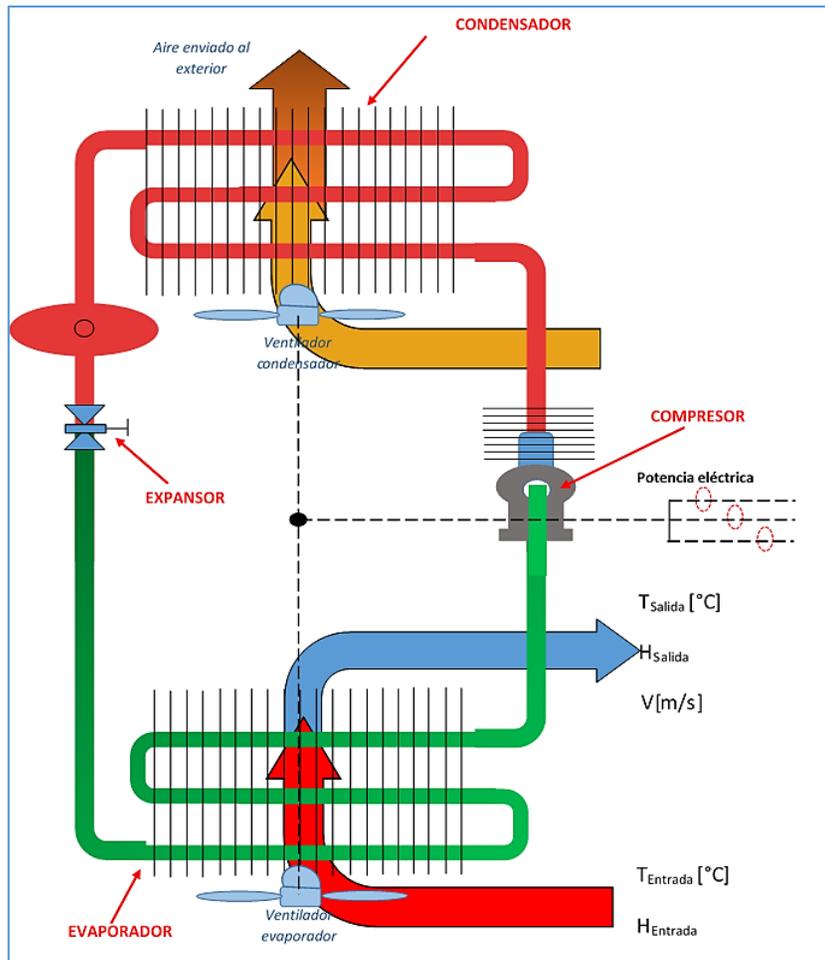


Figura 1.3-2. Variables medidas para el cálculo del EER en unidad de AA [11].

Para los cálculos se debe considerar que:

V_a : es la velocidad del aire a la salida del evaporador en $[m/s]$.

A_a : es el área de del ducto de salida del evaporador en metros.

ρ_a : es la densidad del aire que tiene un valor de $1.196 \text{ kg}/\text{m}^3$

Q_{sen} y Q_{Lat} : es el calor sensible y el calor latente respectivamente expresado en $[\text{kW}]$.

w_e : la relación de humedad especifica de entrada en $\left[\frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgA}_{seco}} \right]$

w_s : la relación de humedad especifica de salida en $\left[\frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgA}_{seco}} \right]$.

Cp_a : Calor específico del aire = $1.007 \frac{kJ}{kg.K}$

ΔH_{vH_2O} : Calor latente de vaporización del agua que tiene un valor de = $2257 \frac{kJ}{kgH_2O}$

p_A : Presión atmosférica = 101.325[kPa]

R_{aire} = 286.9 [J/kg °k]

R_{vapor} = 461.5 [J/kg °k]

T_e : Temperatura de entrada [°C].

T_s : Temperatura de salida [°C].

H_e : Humedad relativa de entrada [%]

H_s : Humedad relativa de salida [%]

I_{rms} : Corriente RMS [A]

V_{rms} : Voltaje RMS [V]

P_e : Potencia de entrada [W]

m_a : Flujo de aire en la salida del evaporador [kg/s]

Coefficientes para calcular la presión de saturación:

$c_1 = -5800.22006$

$c_2 = -5.516256$

$c_3 = -0.048640239$

$c_4 = 0.000041764768$

$c_5 = -0.000000014452093$

$c_6 = 6.5459673$

Primero se encuentra flujo de aire a la salida del evaporador:

$$m_a = V_a \cdot A \cdot \rho_a ; [kg/s] \quad (4)$$

Se calcula el delta de temperaturas:

$$\Delta T = T_e - T_s \quad (5)$$

Se calcula el calor sensible en kW:

$$Q_{sen} = m_a * C_{p_a} * \Delta T ; [kW] \quad (6)$$

Usualmente para encontrar el valor de la relación de humedad específica de entrada y de salida se hace por medio de la carta psicrométrica, como la mostrada en la Figura 1.3-3.

La carta psicrométrica un diagrama en el que se relacionan múltiples parámetros referentes a una mezcla de aire húmedo: temperatura, humedad relativa, humedad absoluta, punto de rocío, presión de saturación, entalpía específica o calor total, calor sensible, calor latente y volumen específico del aire.

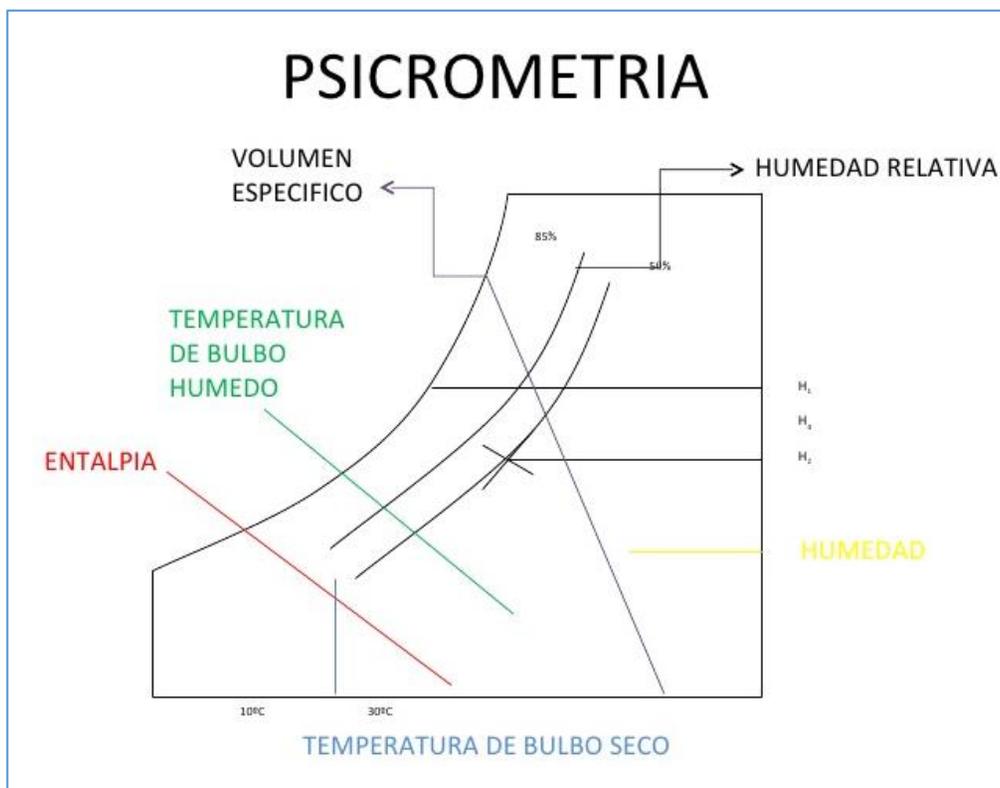


Figura 1.3-3. Ejemplo de carta psicrométrica [26].

Sin embargo para automatizar el cálculo en este caso se hace uso de unos polinomios cuyas soluciones son proporcionales a las lecturas de la carta psicrométrica.

Para esto se debe encontrar la Presión de saturación de entrada [kPa]:

$$P_{S_{entrada}} = e^A \quad (7)$$

Done A es igual a:

$$A = \frac{c_1}{T_e + 273.15} + c_2 + c_3 * (T_e + 273.15) + C_4 * (T_e + 273.15)^2 + C_5 * (T_e + 273.15)^3 + C_6 * \log(T_e + 273.15) \quad (8)$$

Ahora par la presión de saturación de salida [kPa]:

$$P_{Ssalida} = e^B \quad (9)$$

Done de B es igual a:

$$B = \frac{c_1}{T_s + 273.15} + c_2 + c_3 * (T_s + 273.15) + C_4 * (T_s + 273.15)^2 + C_5 * (T_s + 273.15)^3 + C_6 * \log(T_s + 273.15) \quad (10)$$

Con las presiones de saturación de entrada y de salida se procede a calcular las relaciones de humedad.

Relación de humedad de entrada:

$$W_e = \frac{R_{aire}}{R_{vapor}} * \frac{H_e}{100} * \frac{P_{S_e}}{pA + \left(\frac{H_e}{100}\right) * P_{S_e}} * 1000 \quad (11)$$

Relación de humedad de salida:

$$W_s = \frac{R_{aire}}{R_{vapor}} * \frac{H_s}{100} * \frac{P_{S_s}}{pA + \left(\frac{H_s}{100}\right) * P_{S_s}} * 1000 \quad (12)$$

Una vez calculado estos valores de la relación de humedad de entrada y salida se calcula el delta de estos valores:

$$\Delta W = w_e - w_s; \left[\frac{kgH_2O}{kgA_{seco}} \right] \quad (13)$$

Con el valor de ΔW se procede el cálculo del calor latente en [kW]:

$$Q_{Lat} = m_a * \Delta w * \Delta H_{vH_2O}; [kW] \quad (14)$$

Una vez calculado el calor sensible y el calor latente se puede encontrar la capacidad útil de enfriamiento o potencia de enfriamiento en kW:

$$Capacidad \text{ útil de enfriamiento} = (Q_{sen} + Q_{Lat}); [kW] \quad (15)$$

La capacidad útil de enfriamiento se puede expresar en toneladas de refrigeración de la unidad de aire acondicionado:

$$TR = (Q_{sen} + Q_{Lat}) * \left(\frac{3412 \text{ Btu/h}}{1kW} * \frac{1 \text{ Tonelada de Refrigeración}}{12000 \text{ Btu/h}} \right) \quad (16)$$

Usualmente esta capacidad útil de enfriamiento se suele expresar en BTU/h ya que se tiene una mejor comprensión por parte del usuario.

$$\text{Capacidad útil de enfriamiento} = (Q_{sen} + Q_{Lat}) * \left(\frac{3412 \text{ Btu/h}}{1kW} \right) \quad (17)$$

Entonces la relación de eficiencia energética (EER) en [BTU/kW*h] se calcula como se define en la ecuación (2):

$$ERR = \frac{(Q_{sen} + Q_{Lat}) * \left(\frac{3412 \text{ Btu/h}}{1kW} \right)}{P_e}; \left[\frac{\text{BTU}}{\text{kW} * \text{h}} \right] \quad (18)$$

Una vez desarrollado las ecuaciones, en la Figura 1.3-4 se define el proceso a seguir para el cálculo de la relación de eficiencia energética.

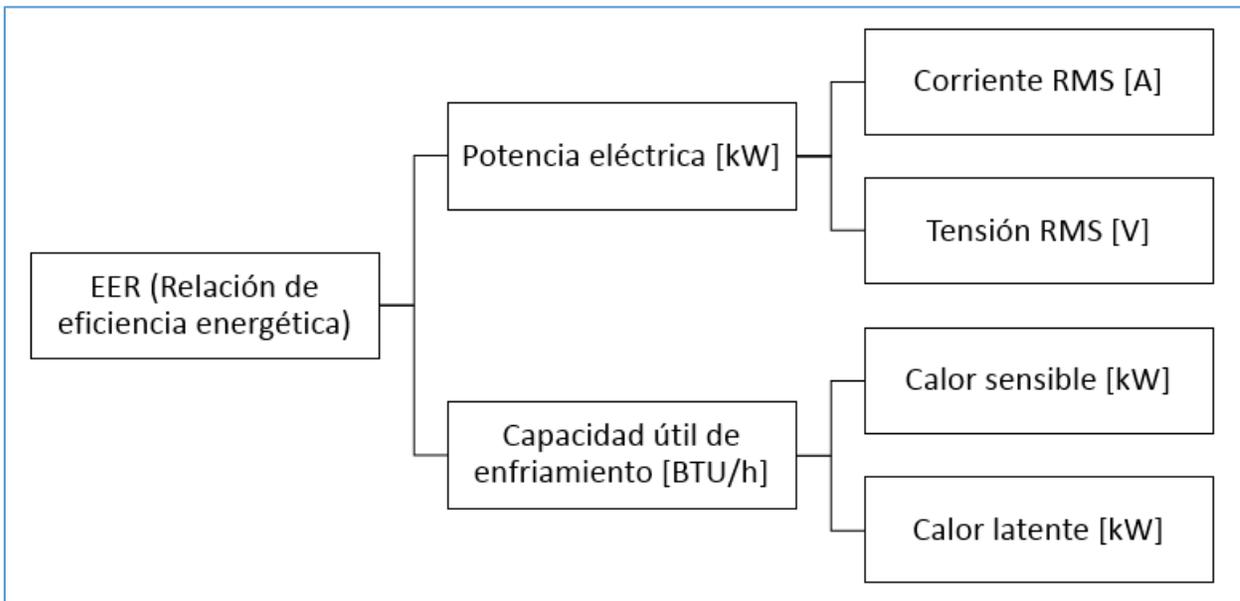


Figura 1.3-4. Esquema de cálculo del EER.

1.4. LINEAMIENTOS PARA MEDICIONES DE PARÁMETROS SEGÚN NORMAS.

1.4.1. Preparación previa de la unidad de AA.

Antes de iniciar con las mediciones es necesario preparar el ambiente y la unidad como lo específica norma NTS 23.47.08:14 numeral 4.2.4.1 Precondiciones: “Los controles del equipo se deben configurar para máximo enfriamiento y se deben cerrar todos los amortiguadores de ventilación y extracción de aire. El equipo bajo ensayo se debe operar continuamente durante 1h después de que se han establecido las temperaturas del aire especificadas y el nivel de condensado de equilibrio”. Al no realizar este procedimiento la unidad estará desactivando o reduciendo la velocidad en los ventiladores; lo que podría ocasionar que los valores medidos sean poco confiable afectado el valor calculado de eficiencia.



Figura 1.4-1. Posición correcta de difusores para medición [23].

Las paletas que regulan el flujo de aire (1) en los equipos deben de estar alineados en paralelo con el ducto interno a la salida del evaporador (2) y con las líneas de flujo del caudal de aire (3) para evitar crear turbulencia en el flujo del aire y obtener la mayor estabilidad en la salida obteniendo una correcta medición de temperatura, humedad y velocidad del viento a la salida del evaporador.

“Se deben registrar los datos durante 30 min con intervalos de 5 min hasta que se hayan completado siete grupos de lecturas. Las variaciones permitidas en las lecturas de los ensayos de capacidad deben estar de acuerdo con Tabla 12.” Según el apartado 4.1.4.2 Duración del ensayo de la NTS 23.47.08:14. Del grupo de lecturas tomadas se calculara un promedio el cual se utilizara para el cálculo del EER.

1.4.2. Medición de Área del ducto de salida del evaporador.

Para medir el área de salida de aire en el equipo tipo ventana es necesario identificar el difusor de aire en el evaporador, en algunos equipos está ubicado en la parte frontal superior (figura 1.5.2a) y en otros casos a un costado de este (Figura 1.4-2b). La medición de largo y ancho se deben obtener en metros y realizarse como lo muestra la Figura 1.4-3.

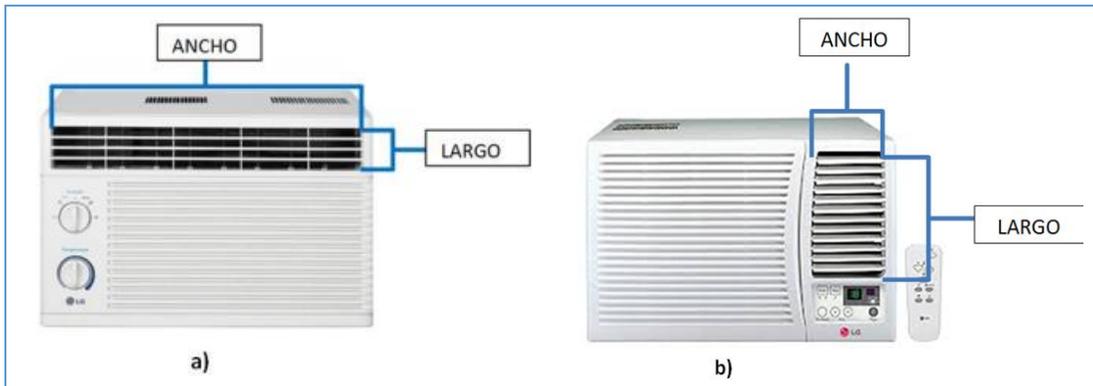


Figura 1.4-2. Indicaciones para medir área de una unidad AA tipo ventana [23].

En equipos tipo Split el largo de la salida del evaporador debe de ser medida a lo largo de las paletas de flujo según muestra la Figura 1.4-3. Para medir el ancho del ducto en el equipo se debe de tomar de forma vertical (Figura 1.4-4b), no de los extremos de la carcasa/coraza de protección del equipo debido a que en la mayoría de equipos la parte superior del ducto interno sobrepasa a la inferior para la ubicación de las paletas de flujo Figura 1.4-4a.

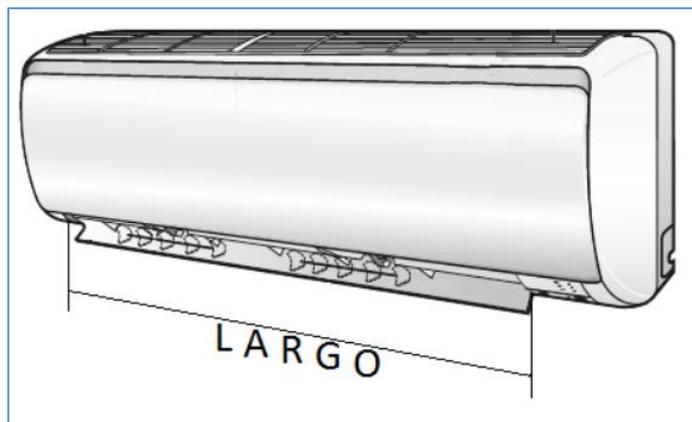


Figura 1.4-3. Medición del largo de una unidad aire acondicionado tipo Split [23].

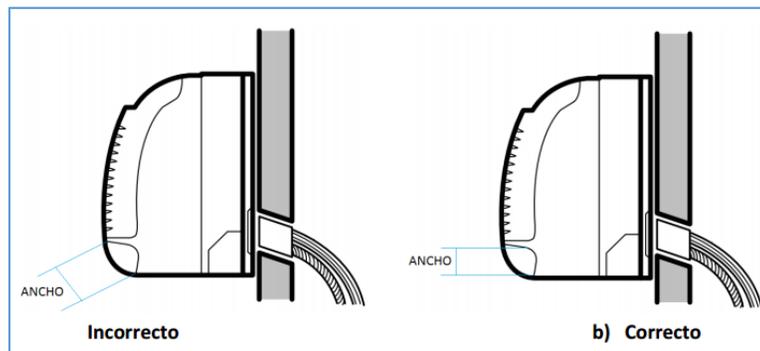


Figura 1.4-4. Medición del ancho de una unidad aire acondicionado tipo Split [23].

1.4.3. Temperatura y humedad de salida.

Los sensores deberán quedar inmersos en zonas de flujo homogéneo, o en puntos de un ambiente en los que no existan turbulencias apreciables donde el viento donde el flujo de aire posea una humedad y temperatura consistentes. La distancia a la que se debe de colocar el medidor de la salida de aire debe de ser igual a la mitad de la longitud de las paletas de flujo de aire (Figura 1.4-5), esta es la mejor ubicación en donde el flujo no posee turbulencias notorias y la temperatura y humedad del aire del ambiente no alteran la medición.

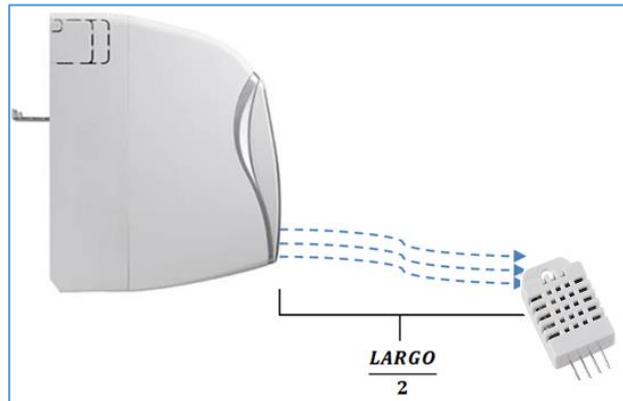


Figura 1.4-5. Distancia de medición de temperatura y humedad relativa [23].

1.4.4. Temperatura y humedad de entrada.

La distancia a la que se debe de colocar el medidor de la entrada de aire no debe de ser mayor a 10 centímetros (Figura 1.4-6). En la medición se está tomando la temperatura y humedad que los focos de calor inyectan a la habitación para luego ser enfriados.

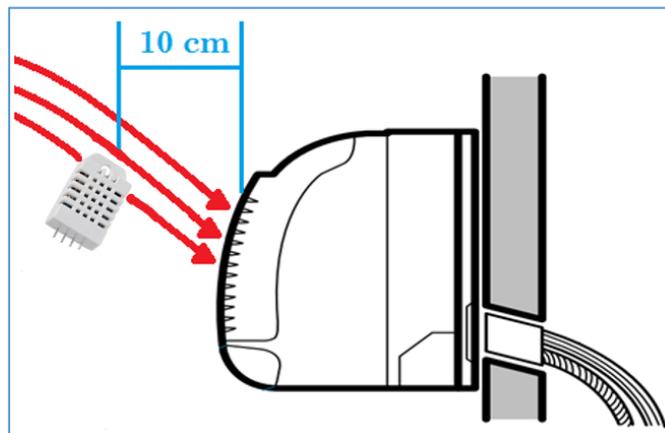


Figura 1.4-6. Distancia de medición de temperatura y humedad relativa [23].

1.4.5. Velocidad del viento (velocidad del flujo de aire).

Para la medición directa de la velocidad del flujo de aire a través del evaporador se deben utilizar anemómetros portátiles, preferentemente de tipo rotativo, se sugiere el mini anemómetro digital GM8908, teniendo presentes para la realización de las medidas las indicaciones de la norma UNE 100010-2: 1989. Se deberá tener la precaución de evitar tomar datos de velocidades de aire en puntos de evidente turbulencia (Figura 1.4-7). Con el mismo objetivo de evitar turbulencias y perturbaciones en el flujo de aire, la persona que efectúe las mediciones deberá situarse en lugares en los que pueda tomar los datos sin generar interferencias ni obstaculizar los flujos de aire. Para la toma de datos sobre pasos de aire de gran superficie es recomendable subdividir las secciones de paso en sectores cuadrados, de lado no superior a 50 cm, y tomar medidas en el centro de cada uno de los cuadrados definidos, manteniendo fijo el anemómetro en cada posición, ya que efectuar las mediciones con el anemómetro en movimiento, más o menos uniforme, sobre la superficie total de paso de aire de una batería, conduce a errores importantes.

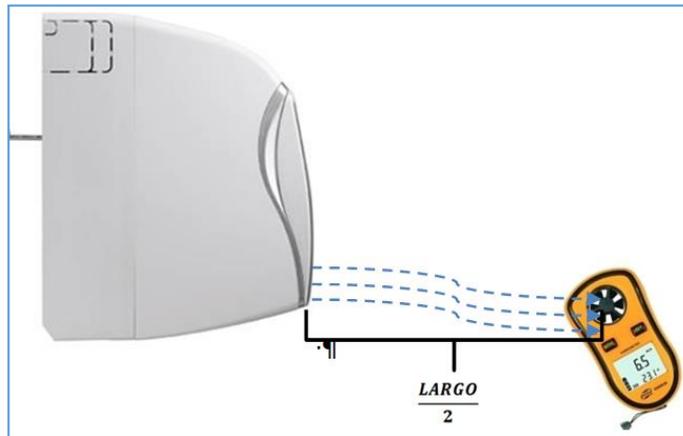


Figura 1.4-7. Medición velocidad del flujo de aire [23].

1.4.6. Potencia eléctrica.

En los equipos autónomos, la medición de tensiones de suministro y de consumos de intensidad es recomendable realizarla sobre los conductores principales de acometida general a la máquina, dado que, de esta manera se obtendrán los datos globales que incluirán los consumos instantáneos de todos los elementos necesarios para su funcionamiento. Los datos obtenidos de esta manera permitirán determinar directamente la potencia total instantánea absorbida por la máquina, en las condiciones en las que se efectúen las mediciones y, consecuentemente, determinar su rendimiento instantáneo con mayor aproximación, aún efectuando las mediciones con igual criterio, debido a que aquellas son siempre más "dependientes" que los equipos autónomos, de ahí su nombre, de elementos externos que son imprescindibles para su funcionamiento y que no se tienen en consideración en la determinación de los coeficientes de eficiencia energética de estas máquinas.

2. SOLUCIÓN PROPUESTA.

2.1. Diseño del prototipo.

De acuerdo con la sección 1.3.3; donde se describe el procedimiento para el cálculo de la relación de eficiencia energética, las variables físicas a monitorear son la velocidad de flujo de aire, humedad relativa, temperatura, corriente y voltaje para la potencia eléctrica. Y la medición del área del ducto de salida del evaporador.

Para que el medidor se adapte a los diferentes tipos de aires acondicionados descritos en la sección 1.1.4, los sensores que realizaran estas mediciones deben estar separados en diferentes sub-sistemas que conformaran un solo sistema. Donde cada sub-sistema debe enviar las mediciones de forma inalámbrica a un sub-sistema principal (maestro) que organice la comunicación, realice las peticiones de información, calcule el EER, almacene la información. Y de igual manera que este proceso pueda ser monitoreado de forma remota desde una estación de trabajo (computadora) basándose en los principios de funcionamiento de un sistema de supervisión, control y adquisición de datos (SCADA), mas no en los protocolos de comunicación comerciales empleados en la industria en sus sistemas SCADA.

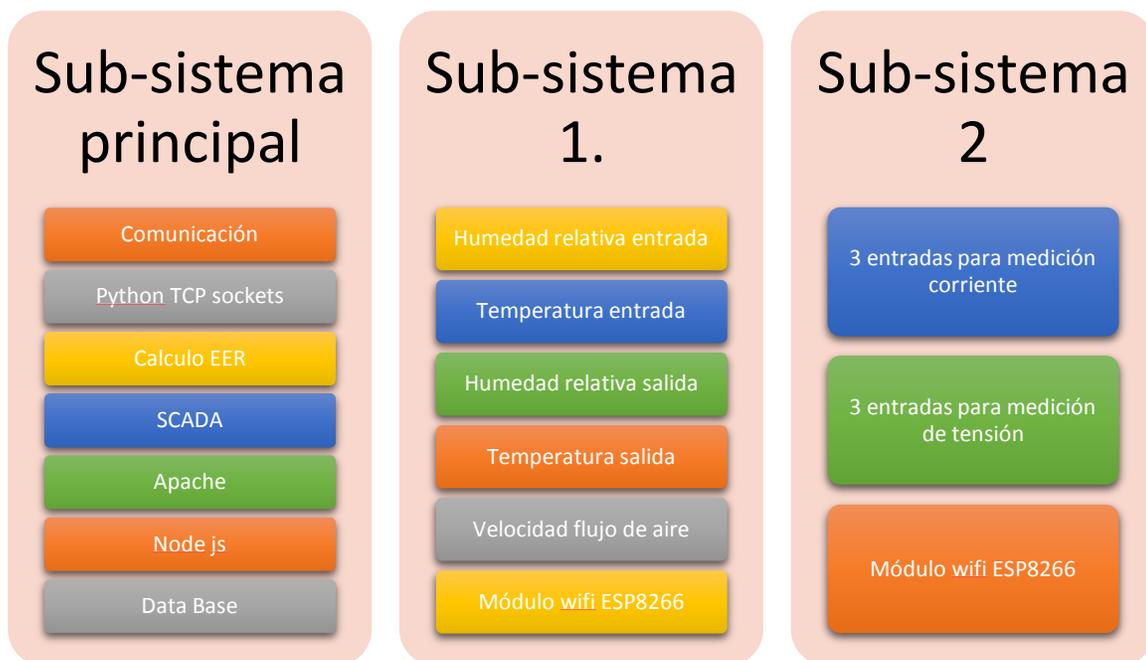


Figura 2.1-1. Sistema solución propuesta medidor EER.

2.1.1. Esquema general del sistema que conforma el prototipo de medidor.

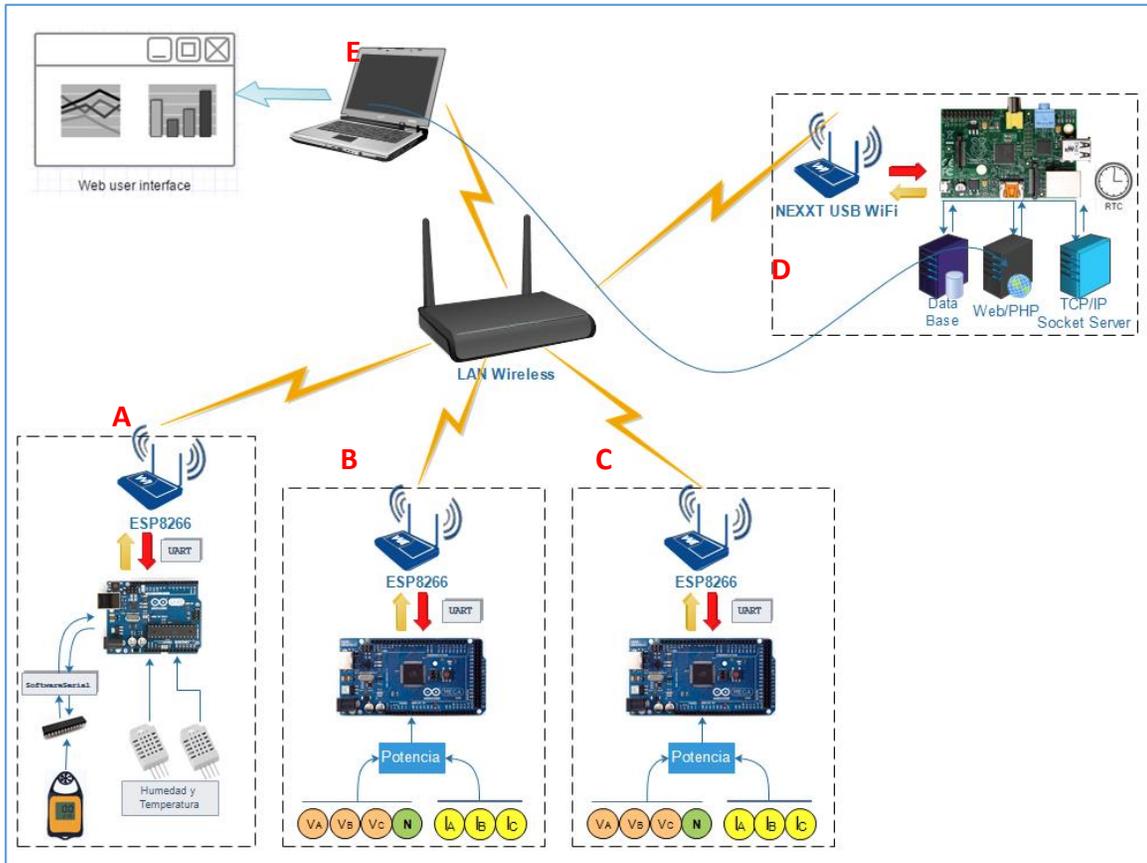


Figura 2.1-2. Esquema de Sub-Sistemas que conforman unidad de medidor EER.

El prototipo de medidor propuesto consta de 4 Sub-Sistemas los cuales se dividen el trabajo y los parámetros a medir para el cálculo de la relación de eficiencia; esto con el fin de adaptarse de mejor manera los diferentes tipos de aires acondicionados (Figura 2.1-2).

El Sub-Sistema 1 (Figura 2.1-2-A) está encargado de medir los valores de humedad relativa y temperatura tanto a la entrada como a la salida del evaporador, además de la lectura de la velocidad del flujo de aire.

Los Sub-Sistemas 2 y 3 (Figura 2.1-2-B y Figura 2.1-2-C respectivamente) corresponden a la medición de potencia monofásica o trifásica. Dependiendo del tipo de aire acondicionado y la instalación eléctrica de este, se hará uso o no de ambos medidores de potencia. El Sub-Sistema principal (Figura 2.1-2-D) es el encargado de gestionar todas las peticiones de información para recolectar los parámetros medidos por los demás Sub-Sistemas; para realizar el cálculo del EER. Posterior a esto almacenar estos datos en la base de datos y mostrar los resultados en la pantalla LCD como en el servidor del sistema SCADA.

2.2. Descripción de los componentes del Hardware.

2.2.1. Raspberry Pi Modelo B Rev2.0 ARM 11 – 512MB RAM

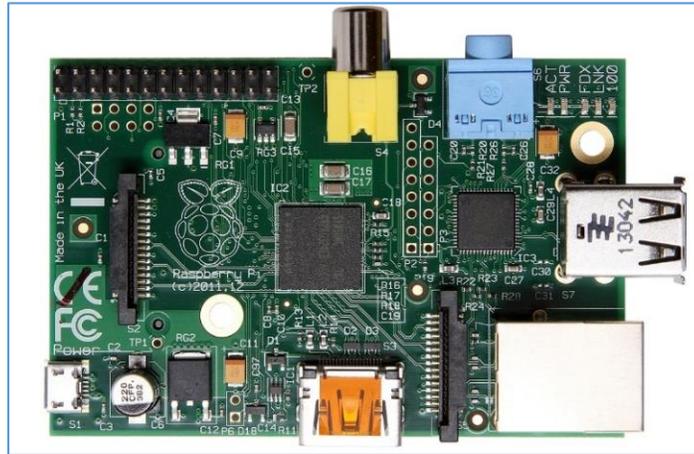


Figura 2.2-1. Raspberry Pi modelo B rev 2 [5].

Tabla 2.2.1. Características Raspberry Pi modelo B rev 2.

	Modelo B
System-on-a-chip (SoC):	Broadcom BCM2835 (CPU + GPU + SDRAM)
CPU:	núcleo ARM11 ARM1176JZF-S a 700 MHz.
GPU:	Broadcom VideoCore IV, OpenGL ES 2.0, OpenVG 1080p30 H.264 codificación y decodificación de perfil alto.
Memoria (SDRAM):	512 MB
Puertos USB 2.0:	2 (Hub USB integrado)
Salidas de vídeo:	RCA, HDMI (no ambas a la vez)
Salidas de audio:	Clavija 3.5 mm, HDMI
Entradas de audio:	Ninguna, pero un micrófono o tarjeta de sonido puede servir
Almacenamiento en placa:	SD / MMC / SDIO
Tarjeta de red en placa:	RJ45 Ethernet 10/100
Periféricos de bajo nivel:	Pins GPIO (General Purpose Input/Output), SPI (Serial Peripheral Interface Bus), I ² C, UART (Universal asynchronous receiver/transmitter)
Reloj RTC:	Ninguno
Consumo:	700mA, (3.5 Watios)
Fuente de alimentación:	5V a través de un conector Micro USB o desde la cabecera GPIO
Dimensiones:	85,60 mm. X 53,98 mm.
Peso:	45g.

Raspberry Pi es una placa computadora (SBC) desarrollada en Reino Unido por la Fundación Raspberry Pi. El diseño incluye un *System-on-a-chip Broadcom BCM2835*, que contiene un procesador central (CPU) ARM1176JZF-S a 700 MHz (el firmware incluye unos modos “Turbo” para que el usuario pueda hacerle *overclock* de hasta 1 GHz sin perder la garantía), un

procesador gráfico (GPU) *VideoCore IV*, y 512 MB de memoria RAM aunque originalmente al ser lanzado eran 256 MB. El diseño no incluye un disco duro o una unidad de estado sólido, ya que usa una tarjeta SD para el almacenamiento permanente; tampoco incluye fuente de alimentación o carcasa.

Tabla 2.2.2. Descripción pines GPIO.

P1: 26-pin Header			
Signal	Pins		Signal
+3.3 V	—1	2—	+5 V
GPIO_02 GPIO_00 (SDA1)	—3	4—	+5 V
GPIO_03 GPIO_01 (SCL1)	—5	6—	GND
GPIO_04 (GPCLK0)	—7	8—	GPIO_14 (UART0_TxD)
GND	—9	10—	GPIO_15 (UART0_RxD)
GPIO_17	—11	12—	GPIO_18 (PCM_CLK)
GPIO_27 GPIO_21	—13	14—	GND
GPIO_22	—15	16—	GPIO_23
+3.3 V	—17	18—	GPIO_24
GPIO_10 (SPI_0_MOSI)	—19	20—	GND
GPIO_09 (SPI_0_MISO)	—21	22—	GPIO_25
GPIO_11 (SPI_0_SCLK)	—23	24—	GPIO_08 (SPI_0_CE0_N)
GND	—25	26—	GPIO_07 (SPI_0_CE1_N)

50mA es la corriente máxima que se puede suministrar a través de la fuente de +3.3V. La tarjeta usa aproximadamente 700mA de la fuente +5V. Si la fuente de alimentación de la Raspberry Pi suministra 1A. La fuente de +5V puede suministrar 300mA. Es posible suministrar energía a la placa a través del *Header P1* en los pines 2 y 4, así como la suministrada desde el puerto micro USB, excepto que la alimentación suministrada desde el *Header P1* evita el fusible *PolySwitch* de 1.1A. Los pines 3 y 5 ya cuentan con una resistencia *Pull-up* de 1.8 K Ω cada uno hacia la fuente de 3.3V requeridos por el Bus I2C de comunicación.

Cómo encontrar el número de revisión de la Raspberry Pi.

Para determinar el número de revisión de la tarjeta se puede ejecutar el siguiente comando en la terminal del sistema:

```
cat /proc/cpuinfo
```

Si el número *cpuinfo* comienza con 1000; entonces la Raspberry Pi ha tenido un *over-voltaged* o un *over-clocked*. Su revisión de hardware no es más que los últimos 4 dígitos del número.

Tabla 2.2.3. Valores de revisión de la Raspberry Pi.

cpuinfo number	Release Date	Model	PCB Revision	Memory	Notes
Beta	Q1 2012	B (Beta)	?	256MB	Beta Board
0002	Q1 2012	B	1.0	256MB	
0003	Q3 2012	B	1.0/ECN0001	256MB	no fuses and D14 removed
0004	Q3 2012	B	2.0	256MB	Mfg by Sony
0005	Q4 2012	B	2.0	256MB	Mfg by Qisda
0006	Q4 2012	B	2.0	256MB	Mfg by Egoman
0007	Q1 2013	A	2.0	256MB	Mfg by Egoman
0008	Q1 2013	A	2.0	256MB	Mfg by Sony
0009	Q1 2013	A	2.0	256MB	Mfg by Qisda
000d	Q4 2012	B	2.0	512MB	Mfg by Egoman
000e	Q4 2012	B	2.0	512MB	Mfg by Sony
000f	Q4 2012	B	2.0	512MB	Mfg by Qisda

2.2.2. Arduino Mega 2560.

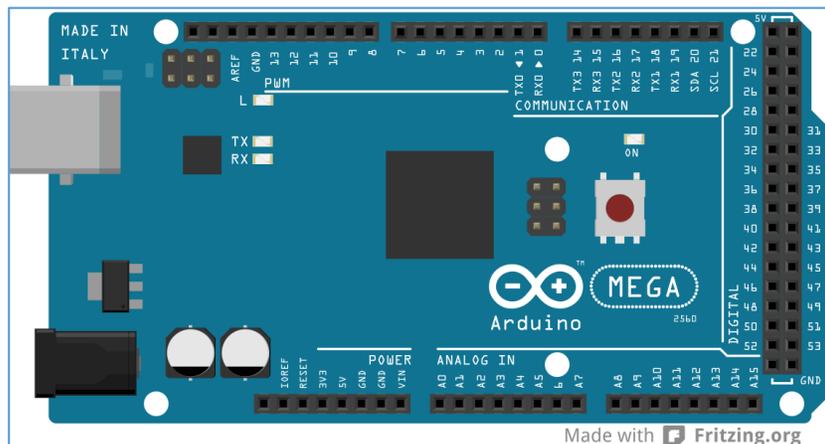


Figura 2.2-2. Arduino Mega 2560 [4].

El Arduino Mega 2560 es una tarjeta programable basada en el Atmega 2560. Posee 54 pines de salida digital (de los cuales 15 poseen salida PWM), 16 pines de entrada analógica, 4 puertos UARTs (*hardware serial port*), un cristal oscilador de 16Mhz, conexión USB, un *header* ICSP, y un botón de *reset*. La tarjeta Mega 2560 es compatible con los *shields* diseñados para el Arduino UNO, *Duemilanove* o *Diecimila*.

Tabla 2.2.4. Especificaciones técnicas.

Microcontrolador	ATmega2560
Voltaje de operación	5V
Voltaje de entrada	7-12V (recomendado)
Voltaje de entrada (limites)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (15 proporcionan salida PWM)
Entradas analógicas	16
Corriente DC por pin I/O	20 mA
Corriente DC por fuente 3.3V	50 mA
Memoria Flash	256KB donde 8KB son usados por bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Velocidad de reloj	16 MHz
Largo	101.52 mm
Ancho	53.3 mm
Peso	37 g

El Arduino Mega 2560 tiene un fusible tipo *polyfuse* que protege el puerto USB del ordenador de cortocircuitos y sobrevoltajes. Si más de 500mA son aplicados al puerto USB. El fusible romperá la conexión automáticamente hasta que el cortocircuito o la sobrecarga sean eliminados.

La tarjeta se puede alimentar desde la conexión USB o con una fuente externa. La fuente externa puede provenir de un adaptador AC a DC (Wall-wart) o una batería. Cuando se opera con una fuente externa, el voltaje debe ser de 7 a 12 Voltios. Ya que si el voltaje es menor a 7V, el pin de 5V podría suministrar menos de 5 voltios y la tarjeta se puede volver inestable. Si el voltaje es mayor a 12V, el regulador podría calentarse y dañar la tarjeta.

Tabla 2.2.5. Descripción de pines de alimentación.

PIN	Descripción
Vin	Voltaje de entrada a la tarjeta cuando se usa fuente externa (en contraposición a 5 voltios de la conexión USB o de otra fuente de alimentación regulada). Se puede suministrar tensión a través de este pin, o acceder al suministro de tensión vía el Jack de potencia.
5V	Este es la salida de 5V provenientes del regulador de la tarjeta. Suministrar voltaje a través de este Pin o del pin 3V3 puede dañar la tarjeta ya que evita el regulador.
3V3	3.3V generados por un regulador en la tarjeta. La máxima corriente que puede suministrar es de 50mA
GND	Referencia a tierra
IOREF	Este pin proporciona el voltaje de referencia con el que el microcontrolador está operando. Un <i>Shield</i> correctamente configurado puede leer el voltaje de este pin y seleccionar el voltaje apropiado para la fuente de alimentación o habilitar un convertidor de voltaje a la salida para trabajar con 5V o 3.3V.

2.2.3. Arduino UNO rev 3.

El hardware consiste en una placa con un microcontrolador *Atmel-AVR* y puertos de entrada/salida. El microcontrolador usados es el *Atmega328*. Por su sencillez y bajo costo que permiten el desarrollo de múltiples diseños. Por otro lado el software consiste en un entorno de desarrollo que implementa el lenguaje de programación *Processing/Wiring* y el cargador de arranque (*bootloader*) que corre en la placa, y mediante el cual se cargan los códigos transformados de ANSI C a Código Máquina HEX en el microcontrolador.



Figura 2.2-3. Arduino UNO rev 3 [4].

Tabla 2.2.6. Especificaciones técnicas.

Característica	Descripción
Microcontrolador	ATmega32u1
Voltaje alimentación	5V
Rango de alimentación	7-12V
Input Voltage	6-20V
Digital I/O Pins	12 (5 salidas PWM)
Analog Input Pins	4
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32K donde 4KB son usados por el bootloader
SRAM	2.5 KB (ATmega32u4)
EEPROM	1 KB (ATmega32u4)
Clock Speed	16 MHz

El Arduino Uno puede ser alimentado mediante la conexión UBS o con una fuente de poder externa. El modo de alimentación se selecciona de forma automática. Fuentes de alimentación externas pueden provenir de un adaptador AC a DC o una batería. La tarjeta puede operar con un voltaje externo de 6 a 20 voltios. Si la alimentación es menor que 7V, el pin de 5V puede suministrar menos de 5V y la tarjeta puede ser inestable. Si se usa un voltaje mayo de 12V, el regulador se puede sobrecalentar y esto podría dañar la tarjeta. El rango recomendado es de 7 a 12 V.

Tabla 2.2.7. Descripción de pines de alimentación.

PIN	Descripción
Vin	Es la entrada de voltaje cuando la tarjeta Arduino cuando está usando una entrada externa de voltaje (diferente a la entrada de 5 voltios del puerto USB).
5V	Este pin suministra un voltaje de 5V proveniente del regulador en la tarjeta. La tarjeta -puede ser alimentada ya sea desde la espiga DC tipo Jack (7-12V), el conector USB (5V), o el pin VIN de la tarjeta (7-12V). Alimentar la tarjeta a través del pin 5V o el pin 3.3V esquivar el regulador, y esto puede dañar la tarjeta.
3V3	Este pin suministra un voltaje de 3.3V generado por el regulador de la tarjeta. La corriente máxima que puede fluir es de 50mA.
GND	Referencia a tierra
IOREF	Este pin proporciona el voltaje de referencia con el que el microcontrolador está operando. Un <i>Shield</i> correctamente configurado puede leer el voltaje de este pin y seleccionar el voltaje apropiado para la fuente de alimentación o habilitar un convertidor de voltaje a la salida para trabajar con 5V o 3.3V.

Tabla 2.2.8. Descripción de pines del Arduino UNO (Atmega328)

PIN	Descripción
Serial	Pin 0 (RX) y pin 1 (TX). Usados para transmitir (TX) y para recibir (RX) TTL serial data. Estos pines están conectados a los pines correspondientes del ATmega8U2 USB-to-TTL chip serial.
Interrupciones externas	Pines 2 y 3. Estos pines pueden configurarse para disparar una interrupción en un estado bajo, en flanco de bajada o de subida, o en un cambio de valor.
PWM	Pines 3, 5, 6, 9, 10 y 11. Proveen una salida PWN de 8 bits con la función analogWrite().
SPI	Pines 10(SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). Estos pines soportan comunicación SPI usando la librería SPI.
LED	Pin 13. Este pin esté conectado a un diodo LED ubicado en la tarjeta.
Entradas analógicas	Posee 6 entradas analógicas, nombradas A0 hasta A5, cada una de las cuales provee una resolución de 10 bits.
I2C(TWI)	Pin A4 (SDA) y el pin A5 (SCL). Soportan comunicación TWI usando la librería <i>Wire</i> .
AREF	Referencia de voltaje para las entradas analógicas
Reset	Se coloca esta línea estado LOW para reiniciar el microcontrolador

2.2.4. Módulo WiFi Serial ESP8266.

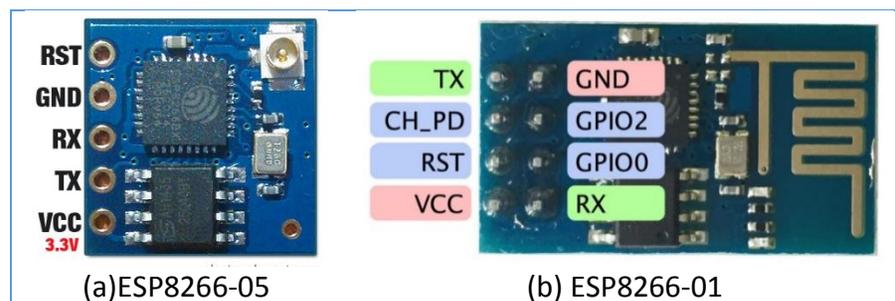


Figura 2.2-4. Módulo WiFi ESP8266 a) versión 5, b) versión 1 [18].

El ESP8266 es un chip que ofrece una solución completa y autónoma de redes Wi-Fi, lo que le permite alojar la aplicación o servir como puente entre Internet y un microcontrolador que se comunican con él a través de una interfaz UART mediante comandos de texto AT. El ESP8266 tiene potentes capacidades a bordo de procesamiento y almacenamiento que le permiten integrarse con sensores y dispositivos específicos de aplicación a través de sus GPIOs (según modelo) con un desarrollo mínimo y carga mínima durante el tiempo de ejecución.

Características técnicas:

- 802.11 b/g/n
- WIFI @ 2.4 GHz, soporta WPA / WPA2
- Modulo ultra-pequeño. Tamaño 11.5mm * 11.5mm
- ADC integrado de 10 bit de precisión
- Protocolo stack TCP/IP integrado
- Switch TR integrado, balun, LNA, amplificador de potencia y red de adaptación
- PLL integrado, regulador de tensión y componentes de administración de energía
- Potencia de salida: 802.11b mode + 19.5dBm
- Soporta diversidad de antenas
- Corriente de fuga menor que 10uA
- CPU de 32 bits de baja potencia: puede funcionar como procesador de aplicaciones.
- SDIO 2.0, SPI, UART
- STBC, 1x1 MIMO, 2x1 MIMO
- A-MPDU & agregación A-MSDU & 0.4ms de intervalo de guarda
- Encendido y transferencia de paquetes < 2ms.
- El consumo de energía en espera es de menos de 1.0mW (DTIM3)
- Rango de temperatura de operación: -40 ~ 125 °C
- Voltaje de alimentación: 3.3 V. Este módulo no tolera 5 V. Cualquier voltaje superior a 3.6 V en sus entradas o en el pin de alimentación puede dañarlo.

Descripción de pines:

- GND – tierra
- TX – serial transmit (idle high)
- RX – serial receive (idle high)
- VCC – 3.3VDC
- CH_PD – must pull high or just connect to VCC
- RST – must pull high or just connect to VCC
- GPIO0 – must pull high or just connect to VCC
- GPIO2 – must pull high or just connect to VCC

Conexión módulo ESP8266 con Arduino UNO/Mega2560.

Ya que el módulo ESP8266 trabaja con niveles lógicos de 3.3V y el Arduino UNO/Mega con un nivel lógico de 5V, no se pueden conectar directamente. Para que los puertos UART de ambos dispositivos puedan trabajar es necesario hacer uso de un convertidor de niveles lógicos.

En la Figura 2.2-5 se muestra la conexión entre el Arduino y el módulo ESP8266 mediante el convertidor.

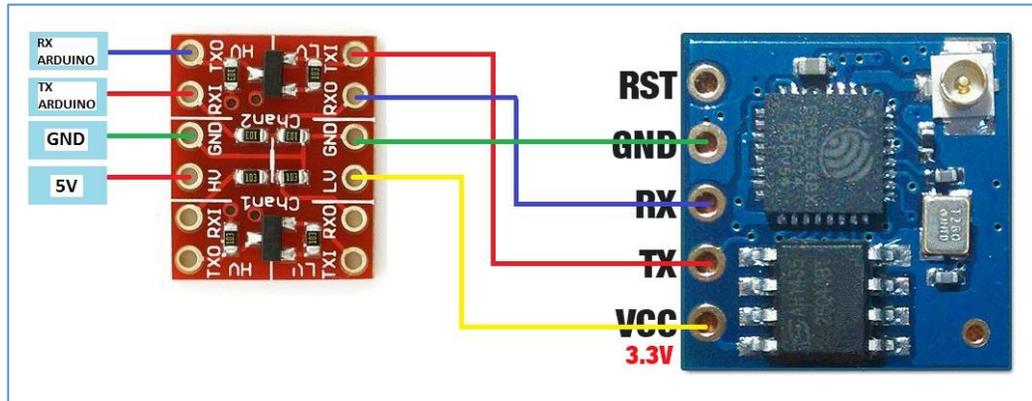


Figura 2.2-5. Conexión módulo ESP8266 mediante convertidor de niveles lógicos [18].

2.2.5. Pantalla LCD Nokia 5110/3310.

La pantalla fue utilizada en los viejos celulares Nokia 5110/3310. Es una pantalla LCD monocromática de 84x48 pixeles individuales; de esta forma se puede usar para general gráficos, textos o bitmaps (mapas de bits). La pantalla tiene un controlador PCD8544 que es el mismo que se utilizó en la pantalla del Nokia 3310. El controlador se comunica con el procesador principal a través de una interfaz serie SPI, por lo que se requieren pocos pines para manejar el display.



Figura 2.2-6. Pantalla LCD Nokia 5110/3310 con controlador PCD8544 [2].

Características:

- Pantalla LCD Nokia 5110 controlador Philips PCD8544 (también se usó en el Nokia 3310)
- Fácil de conectar al protoboard o tarjeta perforada
- Resolución 48 x 84 pixeles
- Interfaz con microcontrolador: SPI
- *Backlight* Incluido
- Voltaje de operación: 2.7 a 3.3V
- Corriente en operación: <5 mA sin backlight, ~20 mA con backlight

Tabla 2.2.9. Descripción de pines LCD Nokia 5110/3310.

Pin	Función	I/O	Notas
VCC	Positive power supply	Input	Supply range is between 2.7V and 3.3V
GND	Ground	Input	
SCE	Chip select	Input	Active low
RST	Reset	Input	Active low
D/C	Mode select	Input	Select between command mode (low) and data mode (high).
DN(MOSI)	Serial data in	Input	
SCLK	Serial clock	Input	
LED	LED backlight supply	Input	Maximum voltage supply is 3.3V.

Nota: La distribución de los pines puede variar según el fabricante.

Conexión.

Para los pines de transmisión de data SCLK y DN (MOSI), se usara el hardware SPI del Arduino, lo que ayudará a lograr una transferencia de datos más rápida. Los pines chip-select (SCE), reset (RST), y data/command (D/C) pueden ser conectados en cualquier pin digital I/O del Arduino. Si se desea el pin LED puede ser conectado a un pin PWM para que se pueda atenuar la luz de fondo de la pantalla.

Por desgracia, la pantalla LCD tiene una tensión máxima de entrada de 3.6 V, por lo que no se puede conectar un Arduino estándar de 5V directamente a él. Necesitamos cambiar los niveles lógicos de voltaje por medio de un *logic level converter* como el utilizado en los módulos WiFi o limitar la corriente; esto se hace por medio del uso de unas resistencias limitadoras. El uso de las resistencias es más económico y es el empleado como se muestra en la Figura 2.2-7 y en la Figura 2.2-8.

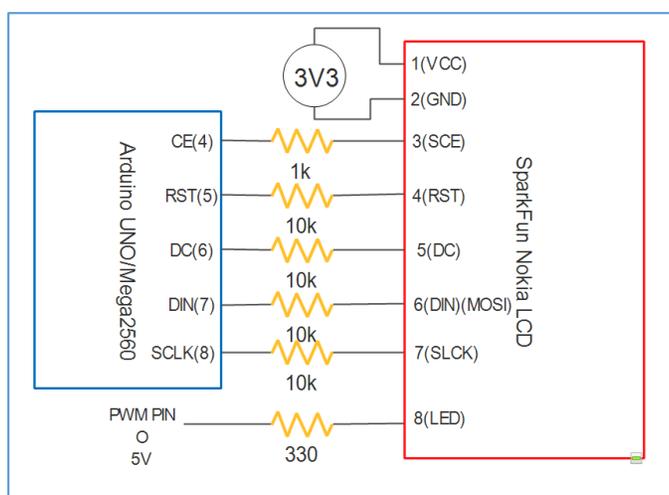


Figura 2.2-7. . Conexión LCD Nokia fabricada por SparkFun.

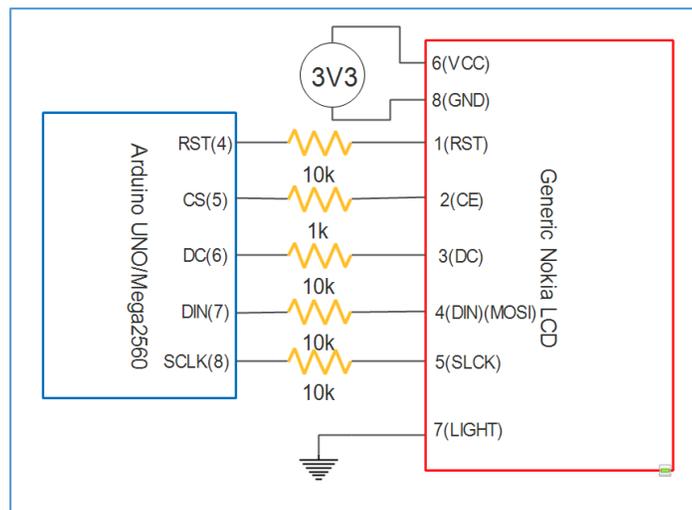


Figura 2.2-8. Conexión LCD Nokia de fabricación genérica.

Añadir resistencias en serie con las señales de datos es una forma barata y fácil de añadir algún tipo de protección a las líneas de 3.3V. La conexión se hace con 4 resistencias de 10k y una de 1k, los pines están conectados como se muestra en la Figura 2.2-7. Se utiliza las resistencias de 10k en los pines SCLK, DN, D/C y RST. Y la resistencia de 1k en el pin SCE. Según el fabricante podría o no podría ser necesario colocar una resistencia en el Pin LED.

Las librerías utilizadas para la pantalla Nokia con el Arduino UNO/Mega se describen a continuación.

PCD8544 Nokia LCD:

<https://github.com/adafruit/Adafruit-PCD8544-Nokia-5110-LCD-library/archive/master.zip>

Adafruit GFX:

<https://github.com/adafruit/Adafruit-GFX-Library/archive/master.zip>

2.2.6. Reloj de tiempo real (RTC).

Una RTC es un reloj de tiempo real, el cual corre con una batería y mantiene el tiempo incluso cuando se elimina la alimentación principal. La mayoría de los microcontroladores, incluido el ATmega de los Arduinos, tienen unas funciones integradas para mantener el tiempo llamada *millis()*, también hay temporizadores en el chip que pueden realizar el seguimiento durante periodos más largos por ejemplo minutos o días. Entonces ¿para qué se necesita un chip RTC por separado? Pues una de los mayores motivos es que *millis()* solo realiza el seguimiento del tiempo desde que el Arduino es alimentado. Eso significa que cuando el Arduino es iniciado el temporizador de los milisegundos se reinicia a cero. El Arduino no sabe si es martes o marzo, lo único que sabes que han pasado 14,000 milisegundos desde que fue energizado.

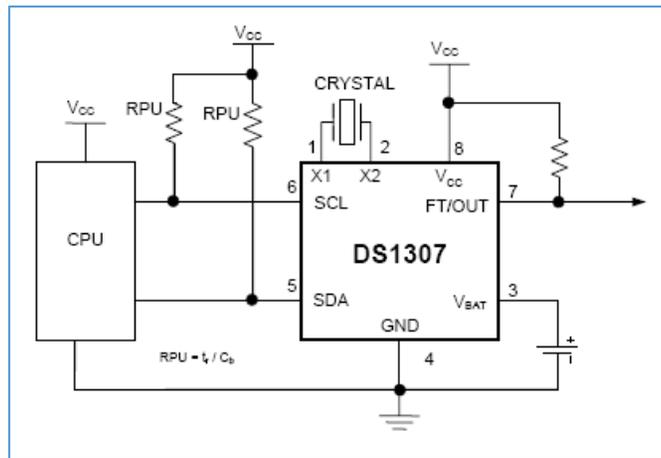


Figura 2.2-9. Circuito típico de operación del RTC DS1307 [10].

El DS1307 es un reloj/calendario de baja potencia, completo con 56 bytes de SRAM no-volátil. Como ya se ha mencionado, el reloj/calendario del DS1307, provee información de segundos, minutos, horas, día, fecha, mes y año. La fecha al final del mes durante los meses con menos de 31 días, se ajusta automáticamente e incluye las correcciones para el año bisiesto. El reloj funciona en cualquiera de los formatos de hora 24 o 12 horas con indicador AM/PM. El DS1307 tiene un circuito integrado en el sensor de energía que detecta los fallos de alimentación y cambia automáticamente a la fuente de respaldo de seguridad. El acceso a los datos, se obtiene mediante la aplicación de una condición de inicio (start) y la prestación de un código de identificación del dispositivo (0x68), seguido de una dirección de registro. Los registros posteriores se pueden acceder de forma secuencial. El DS1307 viene en un paquete de 8-pines DIP, además de otros formatos. El DS1307 cuenta en formato BCD. El DS1307 utiliza un cristal externo de 32.768kHz. El circuito oscilador no necesita resistencias o condensadores externos para funcionar.

Características del RTC DS1307.

- Reloj de tiempo real (RTC) cuenta en segundos, minutos, horas, día del mes, mes, día de la semana y año, con la compensación de año bisiesto válido hasta el 2100.
- 56 Bytes, batería de respaldo, RAM de uso general con escrituras ilimitadas.
- Interface Serial I2C.
- Señal de onda cuadrada programable
- Detección automática de fallas de alimentación y circuito de swicheo.
- Consume menos de 500nA en modo de respaldo de batería con la oscilación activada

La programación del DS1307 se realiza mediante el bus I2C. Los pines de SDA y SCL del DS1307 se conectan a los pines SDA y SLC del microcontrolador con el que se va a comunicar. Como ya es de conocimiento los pines SDA y SCL necesitan de una resistencia de polarización para este caso se recomienda el uso de resistencias de polarización entre 4k7 y 10kΩ entre Vcc y cada

uno de los pines ya mencionados; debido a que estos, se presentan con colector abierto o drenador abierto.

2.2.7. Sensor digital de temperatura y humedad relativa RHT03

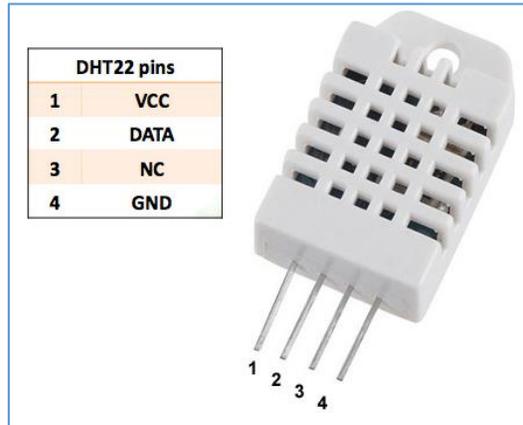


Figura 2.2-10. Sensor de temperatura y humedad relativa RHT03 [1].

El RHT03 (también conocido por DHT-22) es un sensor de temperatura y humedad relativa (HR), de bajo costo y con una interfaz digital de sólo un cable. El sensor está calibrado y no requiere componentes adicionales, solamente una resistencia pull-up entre el terminal de data y Vcc (Figura 2.2-11).

Tabla 2.2.10. Características eléctricas.

	Condición	Min.	Típico	Máx.	Unidad
Power supply	DC	3.3	5	6	V
Current supply	Medición	1		1.5	mA
	Stand-by	40	Null	50	uA
Periodo de medición	Second		2		Second

Se utiliza un sensor de humedad capacitivo y un termistor para medir el aire circundante, y da una señal digital en el pin de datos.

Características:

- Alta precisión
- Tipo capacitivo
- Rango completo de temperatura compensado
- Medición de temperatura y humedad relativa
- Señal digital calibrada
- No necesita componentes extras
- Larga distancia de transmisión, hasta 100 metros
- Bajo consumo de energía

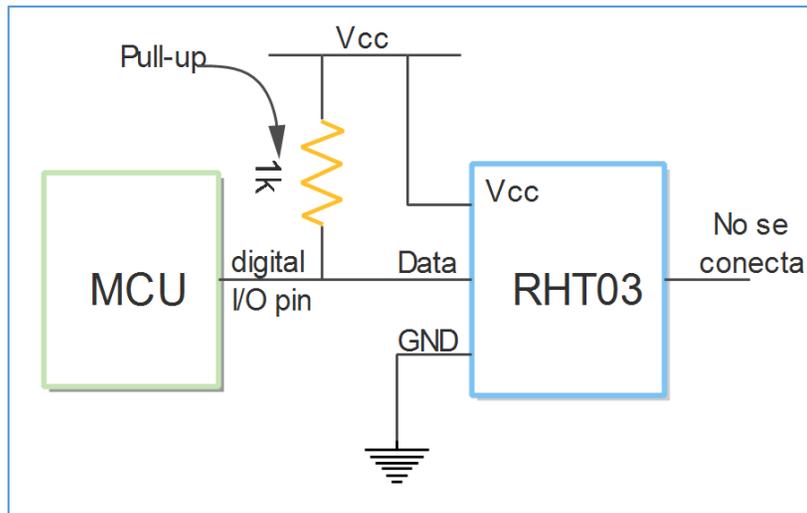


Figura 2.2-11. Esquema de conexión señor RHT03 con microcontrolador.

Especificaciones técnicas:

- Alimentación: 3.3-6VDC
- Elemento sensitivo: capacitor de humedad de polímero.
- Rango de operación: humedad 0-100%, temperatura -40 a 80°C
- Precisión: humedad $\pm 2\%$ HR (Max. $\pm 5\%$); temperatura $\pm 0.5^\circ\text{C}$
- Resolución o sensibilidad: humedad 0.1%HR; temperatura 0.1°C
- Repetitividad: humedad $\pm 1\%$ HR, temperatura $\pm 0.2^\circ\text{C}$
- Histéresis de humedad: $\pm 0.3\%$ HR
- Estabilidad a largo plazo: $\pm 0.5\%$ HR/año
- Intercambiabilidad: totalmente intercambiable

2.2.8. Sensor de corriente no invasivo SCT016 (Transformador de corriente).



Figura 2.2-12. Señor de corriente no invasivo SCT016 [24].

Transformador de corriente de núcleo dividido con corriente máxima de 120A en el primario y 40mA en el secundario. Tiene una relación de transformación de 20A:40mA 1:3000.

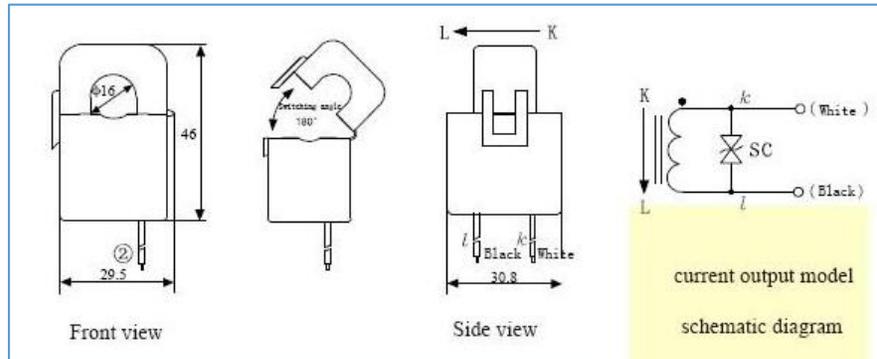


Figura 2.2-13. Esquema de señor de corriente SCT016 [24].

Características:

- Modelo: SCT-016
- Rango de corriente de entrada: 0.01A/120A
- Tamaño de la abertura: 16mm*16mm
- No-linealidad $\pm 3\%$ (10%—120% del rango de la corriente de entrada)
- 1m alambre principal, estándar $\Phi 3.5$ three core plug output.
- Tipo de salida de corriente y tipo de salida de voltaje (Tipo de salida de tensión incorporado resistencia de muestreo).
- Propósito: usada para medición de corriente, monitoreo y protección de un motor AC, equipos de iluminación, compresores de aire, etc.
- Material del núcleo: ferrita
- Fuerza mecánica: el número de conmutaciones no es inferior a 1000 veces (probado a 25°C).
- Índice de seguridad: resistencia dieléctrica entre carcasa y salida) 1000V AC/1min.
- Propiedad de resisten al fuego: de acuerdo con UL94-Vo.
- Temperatura de trabajo: -25°C~+70°C

Tabla 2.2.11. Parámetros básicos.

Modelo	SCT-016
Rango de corriente entrada	0.01 ~120ARMS(50-60Hz) $R_L \leq 10$
Corriente máxima	300ARMS continuos
Corriente de salida	40mA
Cambio de frecuencia (suitable frequency)	50Hz-150kHz
Vueltas en el secundario (n)	300 \pm 2T
Resistencia en el secundario	280 Ω \pm 20 Ω
Cable guía secundario	UL-1007 cable (AWG22)
Tensión de rigidez dieléctrica (Pri/Sec)	AC1000V/100M Ω
Resistencia de insolación (Pri/Sec)	Más allá DC500V/1min
Peso	70g

2.2.9. Sensor de efecto Hall US1881.

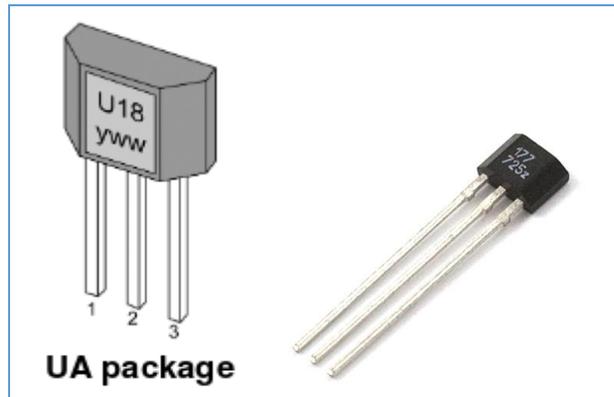


Figura 2.2-14. Empaquetado y descripción de pines sensor US1881 [7].

Tabla 2.2.12. Descripción de pines.

Nº PIN	Nombre	Tipo	Función
1	VDD	Fuente	Pin de suministro de voltaje
2	GND	Tierra	Pin de referencia a tierra
3	OUT	Salida	Open Drain output pin

El sensor de efecto Hall o simplemente sensor Hall o sonda Hall (denominado según Edwin Herbert Hall) se sirve del efecto Hall para la medición de campos magnéticos o corrientes o para la determinación de la posición en la que está. Si fluye corriente por un sensor Hall y se aproxima a un campo magnético que fluye en dirección vertical al sensor, entonces el sensor crea un voltaje saliente proporcional al producto de la fuerza del campo magnético y de la corriente. Si se conoce el valor de la corriente, entonces se puede calcular la fuerza del campo magnético; si se crea el campo magnético por medio de corriente que circula por una bobina o un conductor, entonces se puede medir el valor de la corriente en el conductor o bobina.

En general, encontramos dos tipos de sensores Hall:

- Analógicos. Generan una salida proporcional a la intensidad del campo magnético. Empleados para medir la intensidad de un campo magnético.
- Digitales. Proporcionan un valor Alto en presencia de campo magnético, y bajo en ausencia del mismo. Por tanto, son empleados para detectar la existencia de campos magnéticos. A su vez se dividen en: Switch, se activan al acercarse el polo, y se desactivan al retirar el polo. Y Latch, se activan al acercarse un polo, y mantienen su valor hasta que se acerca un polo contrario

El US1881 es un sensor de efecto Hall digital tipo "latch", esto quiere decir que cuando lo activamos con un campo magnético, nos dará una salida equivalente al voltaje de entrada en el sensor y permanecerá en ese estado aunque retiremos el imán. Para desactivarlo y que la salida del sensor vuelva a 0 Volts, hay que aplicarle un campo magnético con la polaridad inversa. Si lo activamos con el polo norte del imán, lo tenemos que desactivar con el polo sur.

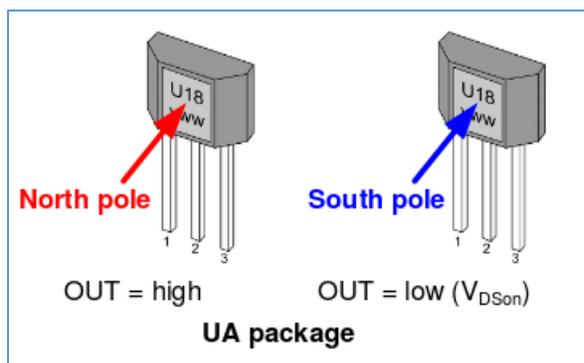


Figura 2.2-15. Esquema de funcionamiento sensor U1881 [7].

El dispositivo integra un regulador de voltaje, sensor Hall con un sistema desplazamiento dinámico de cancelación, Schmitt trigger y un controlador de salida de drenaje abierto, todo en un solo paquete.

Características:

- Operación: 3.5V a 24V DC
- Bajo consumo
- Compensación de temperatura
- Salida colector abierto
- I_{max}: 50mA
- Protección de polaridad
- Encapsulado TO-92

Tabla 2.2.13. Parámetros de operación DC Ta=25°C, VDD=3.5V a 24V.

Parámetro	Símbolo	Condición de prueba	Mínimo	Típico	Máximo	Unidad
Tensión de alimentación	V_{DD}	Operación	3.5		24	V
Corriente de alimentación	I_{DD}	$B < B_{RP}$			5	mA
Voltaje de saturación de salida	V_{DSon}	$I_{OUT} = 20mA, B > B_{OP}$			0.5	V
Corriente de fuga de salida	I_{OFF}	$B < B_{RP}, V_{OUT} = 24v$		0.3	10	uA
Tiempo de subida de salida	t_r	$R_L = 1k\Omega, C_L = 20pF$		0.25		uS
Tiempo de bajada de salida	t_f	$R_L = 1k\Omega, C_L = 20pF$		0.25		uS
Máxima frecuencia de conmutación	F_{SW}			10		kHz
Resistencia térmica de encapsulado	R_{TH}	Capa única (1S) placa Jedec		301		°C/W

2.3. Descripción del funcionamiento.

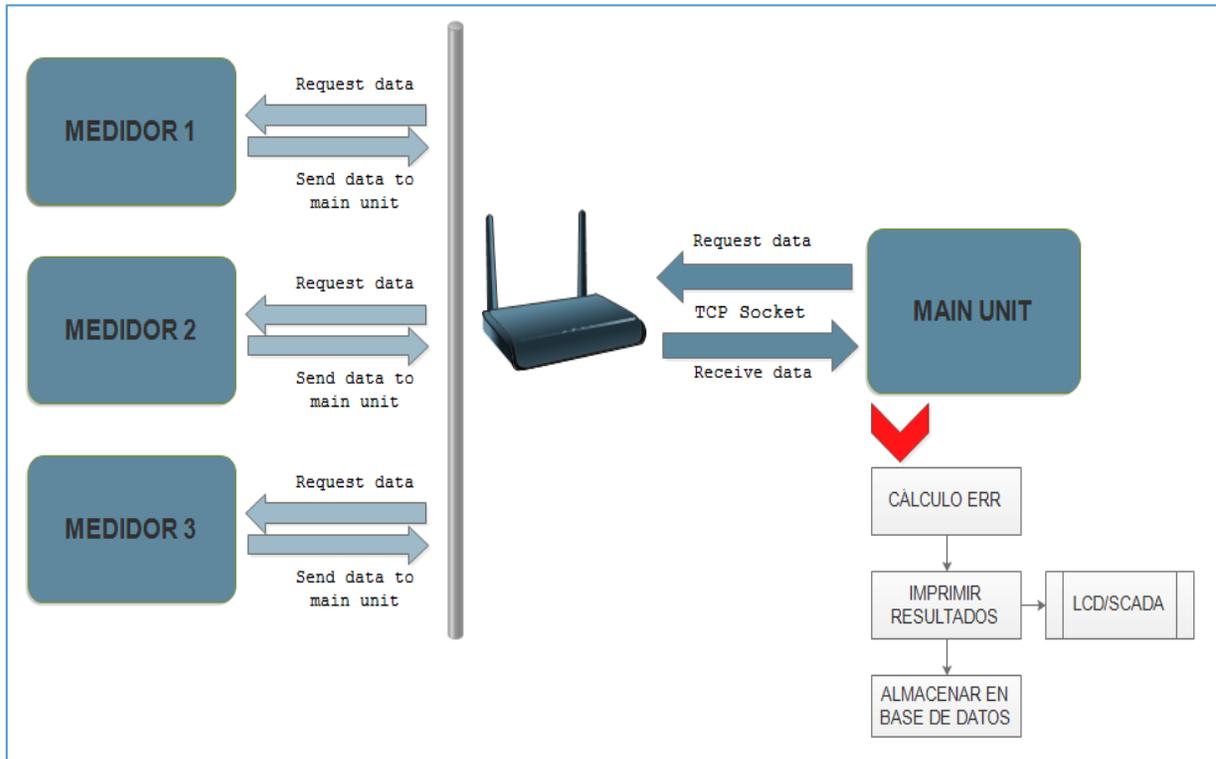


Figura 2.3-1. Proceso de comunicación, envío de solicitudes y recepción de datos.

Una vez el equipo este instalado, configurado y conectados entre en la misma red WiFi se realiza la toma de mediciones. En el sub-sistema principal se encuentra un servidor TCP (que se conecta mediante *sockets*) realizado con Python. Los sub-sistemas 1, 2 y 3 son los clientes que se conectaran por medio de *socket's* con dicho servidor. Los sockets de Internet constituyen el mecanismo para la entrega de paquetes de datos provenientes de la tarjeta de red a los procesos o hilos apropiados. Un socket queda definido por un par de direcciones IP local y remota, un protocolo de transporte y un par de números de puerto local y remoto.

El sub-sistema principal lanzara primero una petición de datos al primer cliente, el cliente recibirá esta petición y enviara los datos censados. Una vez que el servidor recibe los datos del cliente al que le mando una solicitud procede a realizar otra solicitud al siguiente cliente, hasta que este le conteste; y así sucesivamente hasta que todos los sub-sistemas sean interrogados. Este proceso se muestra en la Figura 2.3-1. Cuando el servidor obtenga todos los parámetros procederá a realizar el cálculo del EER. Casi de manera simultánea los datos y el cálculo se almacenaran en la base de datos y a su vez serán mostrados de forma remota por medio de SCADA. Si se da el caso en que uno de los clientes no responde la solicitud de datos en un tiempo especificado (*time out*); se realizaran 5 intentos. Al sobrepasar los 5 intentos se para el proceso y se notifica que hay problemas de conexión.

2.4. Sub-Sistema Principal (Raspberry Pi modelo B rev 2)

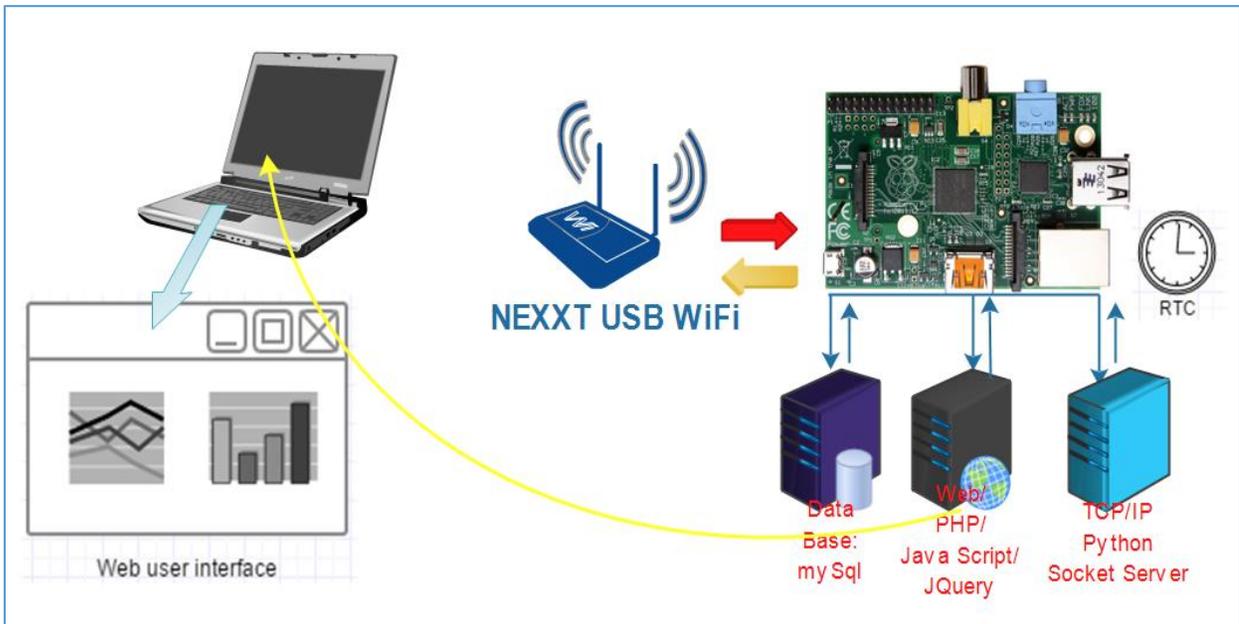


Figura 2.4-1. Esquema de funcionamiento del Sub-Sistema Principal.

El sub-sistema principal está formado principalmente por una tarjeta Raspberry Pi modelo B rev. 2, ejecutando el sistema operativo *Raspbian wheezy*; y sobre este un servidor TCP/IP para gestionar la comunicación con los demás sub-Sistemas, un servidor web con apache, con las herramientas necesarias para la gestión de la información. Y una base de datos para almacenar las mediciones y cálculos para posterior análisis. La comunicación se puede realizar por medio de una LAN Ethernet o mediante una conexión inalámbrica ya que cuenta con un adaptador WiFi USB. También cuenta con una pantalla LCD Nokia, un teclado digital de 6 teclas y un reloj de tiempo real DS1307.

En la Figura 2.4-1 se muestra un esquema de la conformación y funcionamiento del Sub-Sistema principal. En el anexo A se describe las configuraciones iniciales para poner en marcha la Raspberry pi. Además se muestra como configurar la conexión WiFi y como habilitar y configurar los puertos GPIO, SPI e I2C. Una vez realizadas esas configuraciones se puede proceder a realizar las conexiones para la pantalla, teclado y RTC. Esto se muestra en las siguientes secciones.

Para configurar el sub-Sistema principal se puede realizar de dos formas, de forma física mediante la pantalla LCD y el teclado o de forma remota por medio de un navegador web a través de la conexión wifi o Ethernet.

2.4.1. Conexión y configuración de pantalla LCD Nokia 5110/3310.

Antes de proceder a instalar las librerías de Python necesarias para utilizar la pantalla LCD es necesario que previamente se haya configurado las GPIO y el bus SPI de la Raspberry Pi visto en la sección 2.3.3 y la sección 2.3.4 respectivamente.

Primeramente se instala “Python Imaging Library”, y “git” para clonar el repositorio de la librería LCD:

```
sudo apt-get install python-imaging git
```

Se clona el repositorio de Adafruit:

```
git clone https://github.com/adafruit/Adafruit_Nokia_LCD.git
```

Nos movemos a la carpeta “Adafruit_Nokia_LCD”:

```
cd Adafruit_Nokia_LCD
```

Y finalmente instalamos la librería:

```
sudo python setup.py install
```

Conexión LCD Nokia con Raspberry Pi.

La conexión entre la Raspberry Pi y la pantalla es muy simple ya que los ambos usan el mismo nivel de voltaje lógico (3.3V); y no hay necesidad de utilizar convertidores de niveles lógicos. En general se necesita conectar los pines SCLK, DIN Y CS de la LCD a los pines SPI de la Raspberry, y los pines RST y D/C de la LCD en cualquiera de los pines I/O disponibles de la Raspberry. Con esta configuración se hace uso del hardware SPI soportado por la tarjeta que es más rápido. Sin embargo, si necesita más flexibilidad y no requiere actualizaciones rápidas de la pantalla, la librería también soporta la emulación SPI por software en cualquier pin E/S digital (SCLK, DIN, CS, RST, D/C).

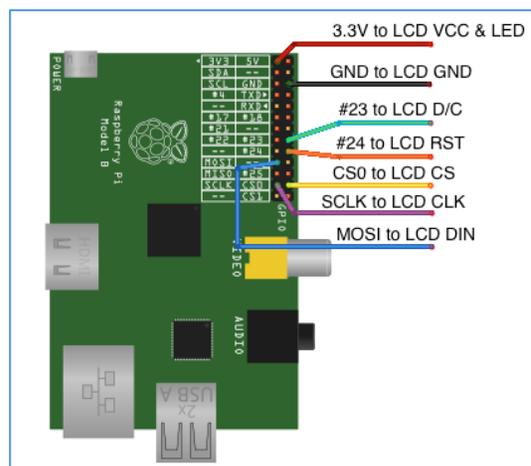


Figura 2.4-2. Pines GPIO conectados con la pantalla LCD [8].

La conexión utilizada entre la pantalla LCD y la Raspberry se muestra a continuación:

Tomar en cuenta que en la conexión mostrada anteriormente en la Figura 2.4-2, la comunicación se hace por medio de la interface `"/dev/spidev0.0"`. Una vez que el LCD está conectado al hardware, encienda el dispositivo y se debe ver la retroiluminación de la pantalla LCD encendida. Si no ve la luz de fondo comprobar la conexión de la fuente y GND.

Uso de la LCD con la Raspberry.

Primeramente se importan los módulos necesarios para usar la librería. Específicamente `Adafruit_Nokia_LCD` y `Adafruit_GPIO.SPI` cargan la librería de la pantalla LCD y el bus SPI respectivamente. Las últimas 3 líneas importan la librería `Python Imaging Library` que es usada para dibujar gráficos y texto.

```
import time

import Adafruit_Nokia_LCD as LCD
import Adafruit_GPIO.SPI as SPI

import Image
import ImageDraw
import ImageFont
```

El siguiente bloque de código define los pines y puertos donde se ha conectado la Raspberry. El primer grupo define si la configuración utiliza el hardware SPI. Abajo de este grupo está comentado un conjunto de pines que podrían ser utilizados si está configurado para utilizar el software SPI.

```
# Raspberry Pi hardware SPI config:
DC = 23
RST = 24
SPI_PORT = 0
SPI_DEVICE = 0

# Raspberry Pi software SPI config:
# SCLK = 4
# DIN = 17
# DC = 23
# RST = 24
# CS = 8
```

Ahora se crea una instancia de la clase LCD que utiliza el hardware SPI pasando los valores de los pines DC y RST, y una instancia de la clase `SpiDev` al constructor de la clase LCD. Tenga en cuenta que los valores SPI_PORT y SPI_DEVICE apuntan a un dispositivo de hardware `spidev` SPI en `/dev/spidev{port}.{device}` en el sistema de archivos, como `/dev/spidev0.0` en este caso. Observe también que la velocidad de la comunicación SPI está ajustado a 4 MHz, la velocidad máxima para la pantalla LCD. La línea comentada que sigue muestra cómo crear una instancia

de la clase LCD mediante el software SPI. En este caso los valores de los pines DC, RST, SCLK, y CS de la LCD deben ser especificados en lugar de instanciar la clase SPI. Una vez la pantalla es creada es inicializada llamando a la función *begin()*, y luego borra y dibuja en la pantalla utilizando las funciones *clear()* y *display()* respectivamente.

```
# Hardware SPI usage:
disp = LCD.PCD8544(DC, RST, spi=SPI.SpiDev(SPI_PORT, SPI_DEVICE,
max_speed_hz=4000000))

# Software SPI usage (defaults to bit-bang SPI interface):
#disp = LCD.PCD8544(DC, RST, SCLK, DIN, CS)

# Initialize library.
disp.begin(contrast=60)

# Clear display.
disp.clear()
disp.display()
```

El resto del código demuestra cómo dibujar imágenes y escribir texto usando la librería “*Python Imaging Library*”. Primero una “*Image* (imagen)” es creada con las mismas dimensiones de la LCD (84 por 48 píxeles), y a un formato de imagen de 1 bit (blanco y negro). Un objeto *ImageDraw* es creado con la imagen, y las funciones para dibujar un rectángulo, una línea, un eclipse y un polígono son hechas contra la clase *draw*. Para mostrar texto, una fuente por defecto es cargada y se utiliza la función para imprimir texto sobre la clase la clase *draw*. Si se cuenta con una fuente TrueType disponible se puede cargar para visualizar una fuente personalizada. Una vez que se ha dibujado sobre la imagen, es mostrada en la LCD llamando a la función *image()* para copiar la data de la imagen en el buffer de la LCD, y es visualizada al llamar a la función *display()*.

```
# Create blank image for drawing.
# Make sure to create image with mode '1' for 1-bit color.
image = Image.new('1', (LCD.LCDWIDTH, LCD.LCDHEIGHT))

# Get drawing object to draw on image.
draw = ImageDraw.Draw(image)

# Draw a white filled box to clear the image.
draw.rectangle((0,0,LCD.LCDWIDTH,LCD.LCDHEIGHT), outline=255, fill=255)

# Draw some shapes.
draw.ellipse((2,2,22,22), outline=0, fill=255)
draw.rectangle((24,2,44,22), outline=0, fill=255)
draw.polygon([(46,22), (56,2), (66,22)], outline=0, fill=255)
draw.line((68,22,81,2), fill=0)
draw.line((68,2,81,22), fill=0)

# Load default font.
```

```

font = ImageFont.load_default()

# Alternatively load a TTF font.
# Some nice fonts to try: http://www.dafont.com/bitmap.php
# font = ImageFont.truetype('Minecraftia.ttf', 8)

# Write some text.
draw.text((8,30), 'Hello World!', font=font)

# Display image.
disp.image(image)
disp.display()

```

Eso es todo el código que necesita para empezar a dibujar los gráficos en la pantalla LCD. En la Figura 2.4-3 se muestra un ejemplo de la ejecución del código anterior.



Figura 2.4-3. Ejecución del ejemplo “shapes.py” [8][8].

2.4.2. Conexión teclado digital.

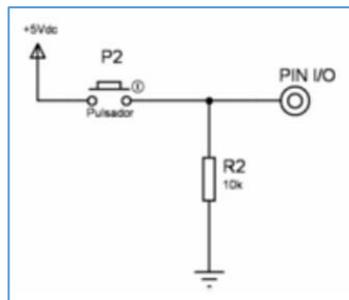


Figura 2.4-4. Conexión pulsador para obtener estados digitales.

Para el teclado se usan los 6 pines digitales GPIO que se muestran en la Tabla 2.4.1. Dichos pines están configurados como entradas. Ya que se busca generar un valor lógico 0 (cero voltios o GND) y un valor lógico 1 (3.3 voltios) se emplea la configuración mostrada en la Figura 2.4-4. Dicha configuración se denomina “activa alta” la cual funciona de la siguiente manera; cuando el pulsador p2 no está accionado (no pulsado) hay un voltaje de cero a la salida debido a la conexión con tierra mediante la resistencia de 10kΩ. Cuando se presiona el pulsador se

coloca sobre la salida el voltaje de alimentación (3.3V en este caso) y gracias a la resistencia se evita un cortocircuito.

Tabla 2.4.1. Pines GPIO utilizadas para teclado digital.

Descripción de tecla	Entrada GPIO Raspberry Pi
BACK	17
UP	22
OK	18
DOWN	04
NEXT	23
MENU	21/27

El circuito del teclado mostrado en la Figura 2.4-11 (A) está formado 6 pulsadores, cada uno de ellos con la configuración descrita anteriormente.

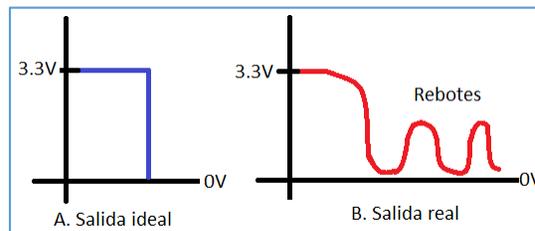


Figura 2.4-5. Salida ideal y salida real del circuito de la Figura 2.4-4.

Un problema habitual con los pulsadores al ser dispositivos de acción mecánica; es que cuando estos se accionan no generan un pulso ideal como se muestra en la Figura 2.4-5 (A) ya que por efecto de la acción mecánica se genera los denominados rebotes; que no son más que distorsiones en el pulso generado (Figura 2.4-5 B) y son una de las fuente de fallos o errores. Si no te aseguras que no hay rebotes, corres el riesgo de no saber si el resultado es el esperado.

Hay varias formas de evitar estos rebotes, empleando pulsadores anti-rebote, filtros, circuitos anti-rebote o mediante software. En este caso se evita el efecto no deseado de los rebotes mediante software; esto mediante la inclusión un retardo en cada lectura de los pines GPIO empleados. El circuito completo del teclado digital se muestra en la Figura 2.4-11.

2.4.3. Configuración RTC DS1307 en Raspberry Pi.

Ya que la Raspberry Pi está diseñada para ser una computadora de ultra bajo costo, esta no cuenta con un reloj de tiempo real como lo haría una computadora de sobre mesa o una laptop. El RTC (Real Time Clock, por sus siglas en inglés) es un circuito integrado que lleva el tiempo del ordenador de forma independiente al procesador y que no pierde su conteo al apagar el ordenador. La Raspberry Pi en lugar de utilizar un RTC, esta se conecta vía internet,

actualizando el tiempo de forma automática de los servidores globales NTP (Network Time Protocol).

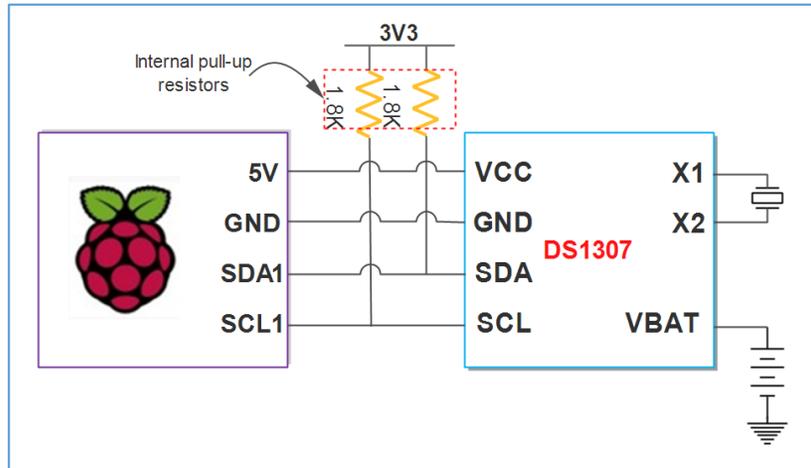


Figura 2.4-6. Conexión RTC DS1307 con Raspberry Pi.

El RTC utilizado es el DS1307, que es un RTC de bajo costo y fácil de usar, con una batería de respaldo; y que utiliza el bus I2C para comunicarse. En la Figura 2.2-6 se muestra el circuito típico de conexión del DS1307. Sin embargo ya que este opera a un nivel lógico de 5V y la Raspberry Pi opera a 3.3V se omiten las resistencias pull-up que van en los pines SDA y SCL; de esta manera se utilizan las resistencias pull-up internas de 1.8kΩ de la Raspberry a 3.3V. Dicho esquema se muestra en la Figura 2.4-6.

Tabla 2.4.2. Conexión entre Raspberry Pi con DS1307.

Pin Raspberry Pi	Pin DS1307
5V	VCC
GND	GND
SDA0	SDA
SCL0	SCL

Luego de hacer las conexiones se realizar una prueba (Nota: para poder utilizar el RTC con la Raspberry Pi previamente se debe haber configurado el bus I2C):

```
sudo i2cdetect -y 0
```

```
pi@raspberrypi:~$ sudo i2cdetect -y 0
   0  1  2  3  4  5  6  7  8  9  a  b  c  d  e  f
00:  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --
10:  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --
20:  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --
30:  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --
40:  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --
50:  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --
60:  --  --  --  --  --  --  --  --  --  68  --  --  --  --  --
70:  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --
```

Figura 2.4-7. Detección del RTC DS1307 conectado al bus I2C.

En la línea de comandos se debe visualizar algo similar a lo mostrado en la Figura 2.4-7. En esta se puede ver el ID #68; que es la dirección que identifica al DS1307 en el bus I2C. Si en caso se tiene una Raspberry Pi rev 2, se debe cambiar la dirección del bus I2C de 0 a 1:

```
sudo i2cdetect -y 1
```

Configurar tiempo del RTC (Set RTC time).

Ahora que se tiene el RTC conectado y se ha verificado que se detecta el RTC con `i2cdetect`, podemos configurarlo. Primero se carga el modulo del RTC:

```
sudo modprobe rtc-ds1307
```

Después como super usuario ejecutamos (`sudo bash`):

- Si se tiene un Pi rev 1:

```
echo ds1307 0x68 > /sys/class/i2c-adapter/i2c-0/new_device
```

- Si se tiene un Pi rev 2:

```
echo ds1307 0x68 > /sys/class/i2c-adapter/i2c-1/new_device
```

Ahora se digitar “`exit`” para salir de la root shell. Ahora se procede a interrogar al RTC para obtener el tiempo:

```
sudo hwclock -r
```

```
pi@raspberrypi:~$ sudo hwclock -r
Sat 01 Jan 2000 00:01:20 UTC -0,081747 seconds
```

Figura 2.4-8. Respuesta del RTC cuando se le interroga por la hora.

Si es la primera vez que se lee el DS1307, mostrara la fecha y hora errónea, como se muestra en la Figura 2.4-8. Si este es el caso se debe programar la fecha y hora correcta. La forma más fácil para establecer el tiempo correcto es a través de internet. Primero se establece el tiempo correcto en la Raspberry (mediante el comando “`date`”). Entonces se ejecuta el siguiente comando para establecer la hora del sistema en la RTC:

```
sudo hwclock -w
```

```
pi@raspberrypi:~$ sudo hwclock -w
pi@raspberrypi:~$ sudo hwclock -r
Thu 30 Aug 2012 20:16:05 UTC -0,874926 seconds
pi@raspberrypi:~$
```

Figura 2.4-9. Hora del sistema en el RTC.

Lo siguiente es agregar el modulo del núcleo RTC al archivo “`/etc/modules`”; para que este sea cargado al inicio del sistema:

```
sudo nano /etc/modules
```

Y se agrega “`rtc-ds1307`” al final del archivo.

```

# This file contains the names of kernel modules that should be loaded
# at boot time, one per line. Lines beginning with "#" are ignored.
# Parameters can be specified after the module name.

snd-bcm2835
spi-bcm2708
i2c-bcm2708
i2c-dev
rtc-1307

```

Figura 2.4-10. Contenido del archivo modules.

Ahora se edita el archivo “/etc/rc.local” para que al iniciar la Raspberry de forma real:

```
sudo nano /etc/rc.local
```

Y agregar al final:

- Para Raspberry revisión 1.

```
echo ds1307 0x68 > /sys/class/i2c-adapter/i2c-0/new_device
sudo hwclock -s
```

- Para Raspberry B revisión 2.

```
echo ds1307 0x68 > /sys/class/i2c-adapter/i2c-1/new_device
sudo hwclock -s
```

Con esto, la siguiente vez se inicie el sistema, este se actualizara desde el módulo RTC.

2.4.4. Diseño del circuito para sub-Sistema principal.

En la Tabla 2.4.3 se describe los pines utilizados del *header P1* de la tarjeta Raspberry para el diseño del prototipo del sub-Sistema principal; además de la una breve descripción de la función ejercida y con qué elemento está conectado. El circuito completo donde se muestra la conexión del teclado, la pantalla LCD Nokia y el reloj de tiempo real con la Raspberry se muestra en la Figura 2.4-11. El diseño de la PCB se hizo de tal forma que se colocara como un Shield para la Raspberry.

Tabla 2.4.3. Descripción de uso de pines P1 Header Raspberry P modelo B rev2.

Pin	Función	Conexión	Pin	Función	Conexión
1	3.3 VDC Power	VCC ESP8266 y Nokia LCD	13	GPIO21/27	Tecla MENU
2	5.0 VDC Power	VCC RTC DS1307	15	GPIO22	Tecla UP
3	SDA0	SDA ESP8266	16	GPIO23	Tecla NEXT
5	SCL0	SCL ESP8266	18	GPIO24	DC pin Nokia LCD
6	GND	GND	19	SPI_MOSI	DIN pin Nokia LCD
7	GPIO4	Tecla DOWN	22	GPIO25	RST pin Nokia LCD
11	GPIO17	Tecla BACK	23	SPI_SCLK	CLK pin Nokia LCD
12	GPIO18	Tecla OK	24	SPI_CEO	CE pin Nokia LCD

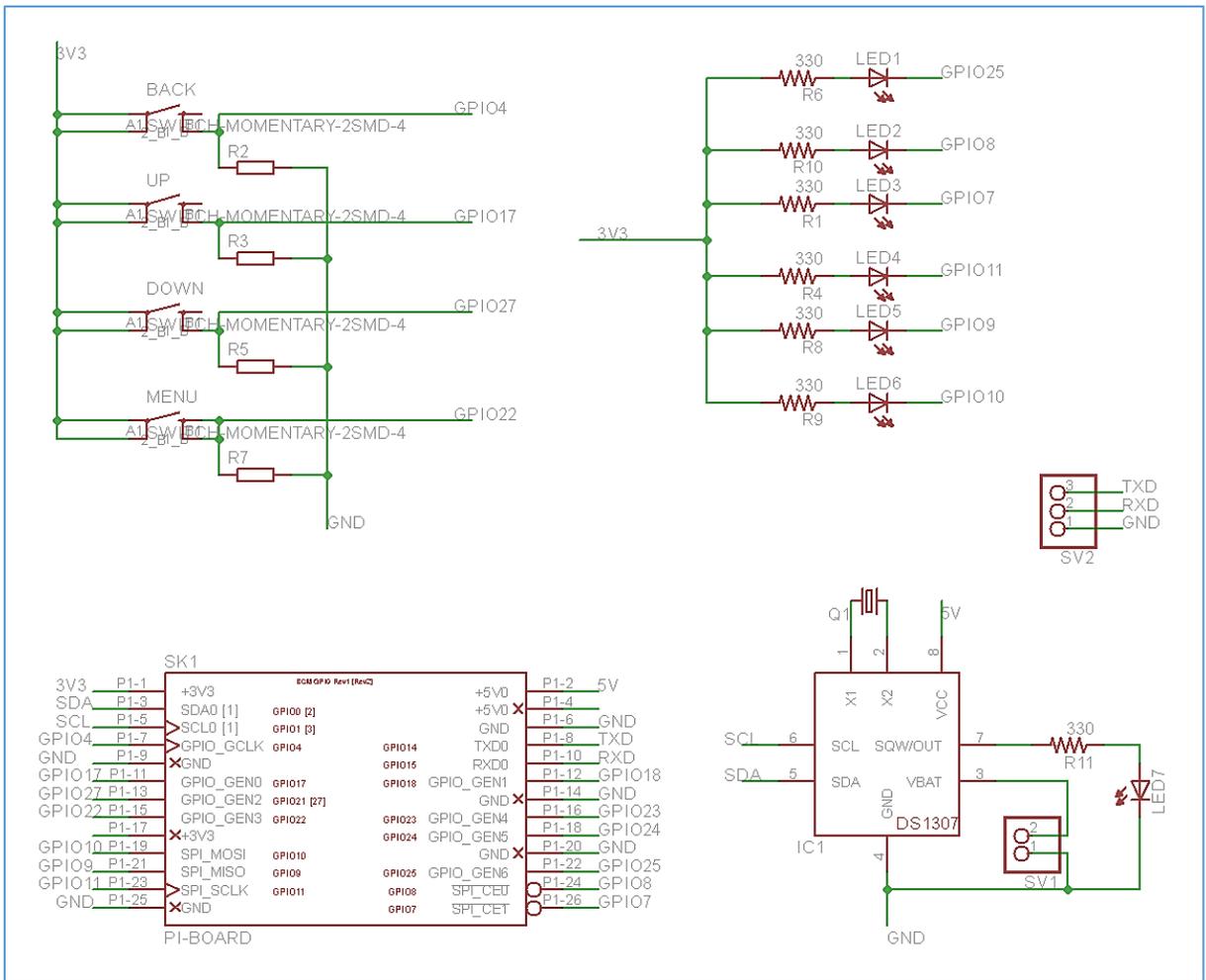


Figura 2.4-11. Diseño circuito para sub-Sistema principal.

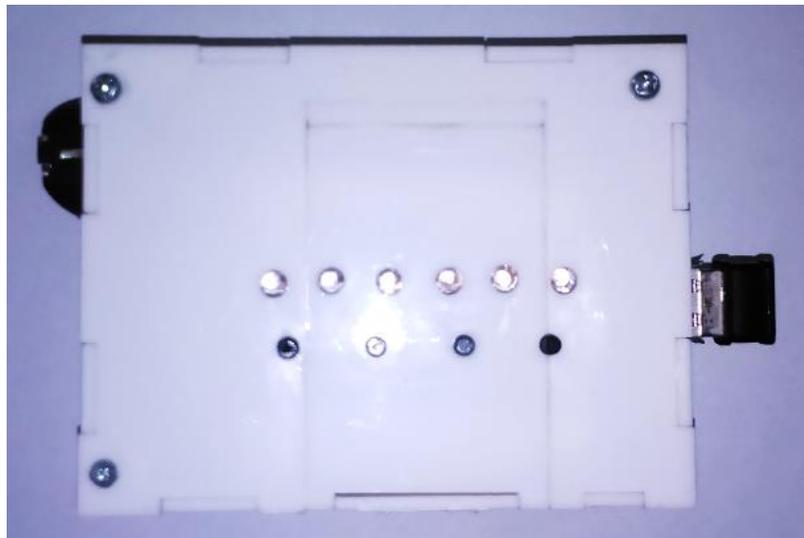


Figura 2.4-12. Parte frontal sub-sistema principal (leds indicadores).

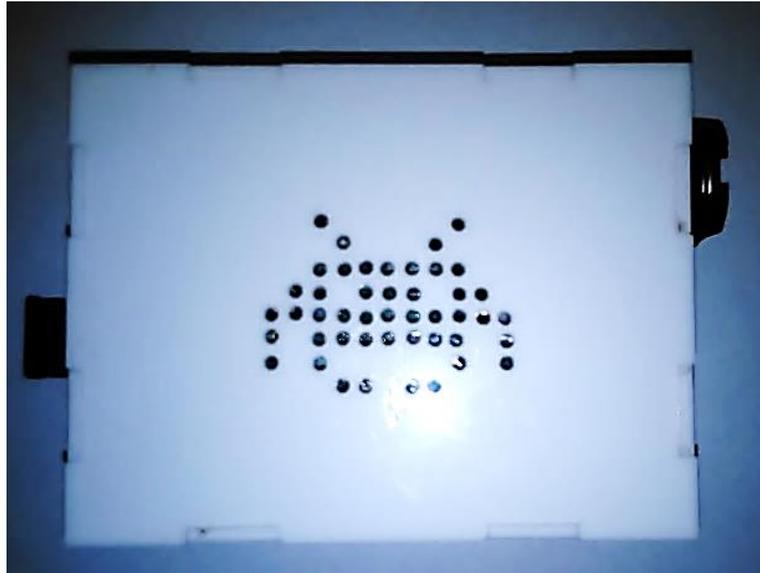


Figura 2.4-13. Parte trasera sub-sistema principal (orificios de ventilación).



Figura 2.4-14. Parte lateral izquierda (batería RTC, tarjeta SD, Fuente).



Figura 2.4-15. Parte lateral derecha (puertos USB y conector RJ45).



Figura 2.4-16. Parte inferior sub-sistema principal (puerto serial, HDMI).

Para configurar la conexión WiFi del sub-sistema principal se hace por medio de una conexión serial con una computadora, para iniciar una terminal. En la Figura 2.4-17 se muestra el convertidor de USB a serial utilizado, en este caso es un dlp-usb232m pero se puede usar cualquier FTDI o cable serial teniendo en cuenta que debe operar con un voltaje de 3.3V a nivel lógico. El dlp-usb232m se debe configurar para que trabaje a 3.3V esta configuración se muestra en la Figura 2.4-18. Finalmente el cable USB y el convertidor utilizado se muestran en la Figura 2.4-19. El procedimiento para realizar estas configuraciones del sub-sistema principal se muestra en la sección 3.1 Instalación y uso de sub-sistemas medidor EER.

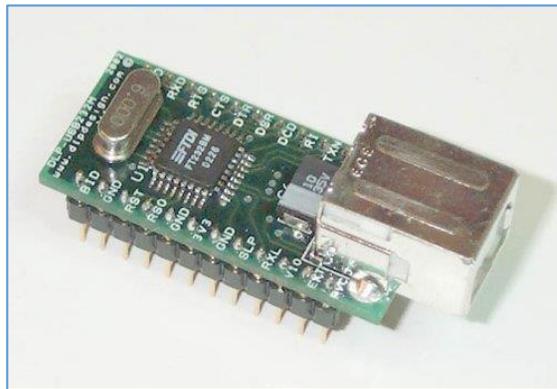


Figura 2.4-17. Convertidor USB a RS232 dlp-usb232m [27].

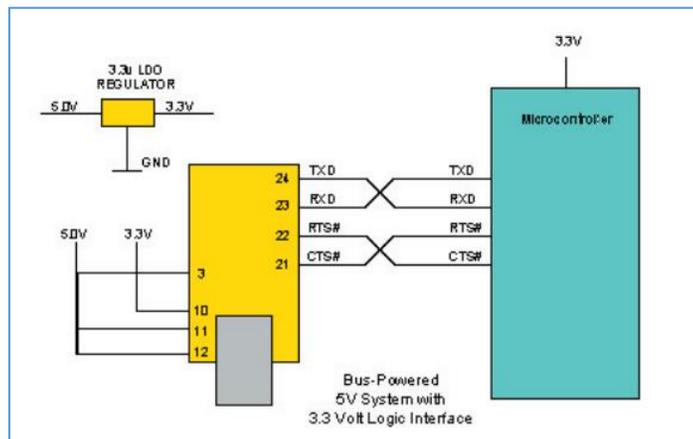


Figura 2.4-18. Configuración dlp-usb232m para operar a un nivel lógico de 3.3V [27].

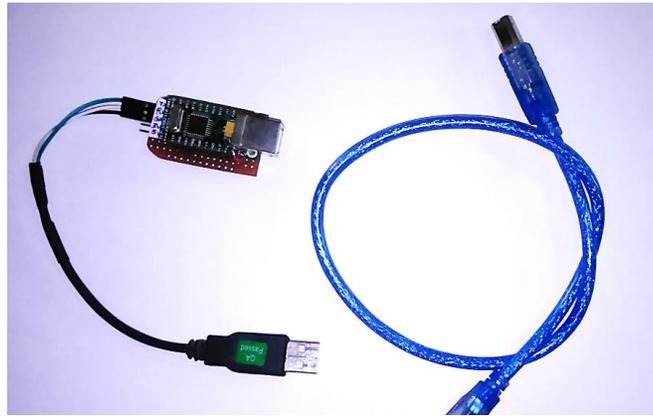


Figura 2.4-19. Adaptador y cable para terminal serial.

2.4.5. Diseño del sistema HMI/SCADA del sub-sistema principal.

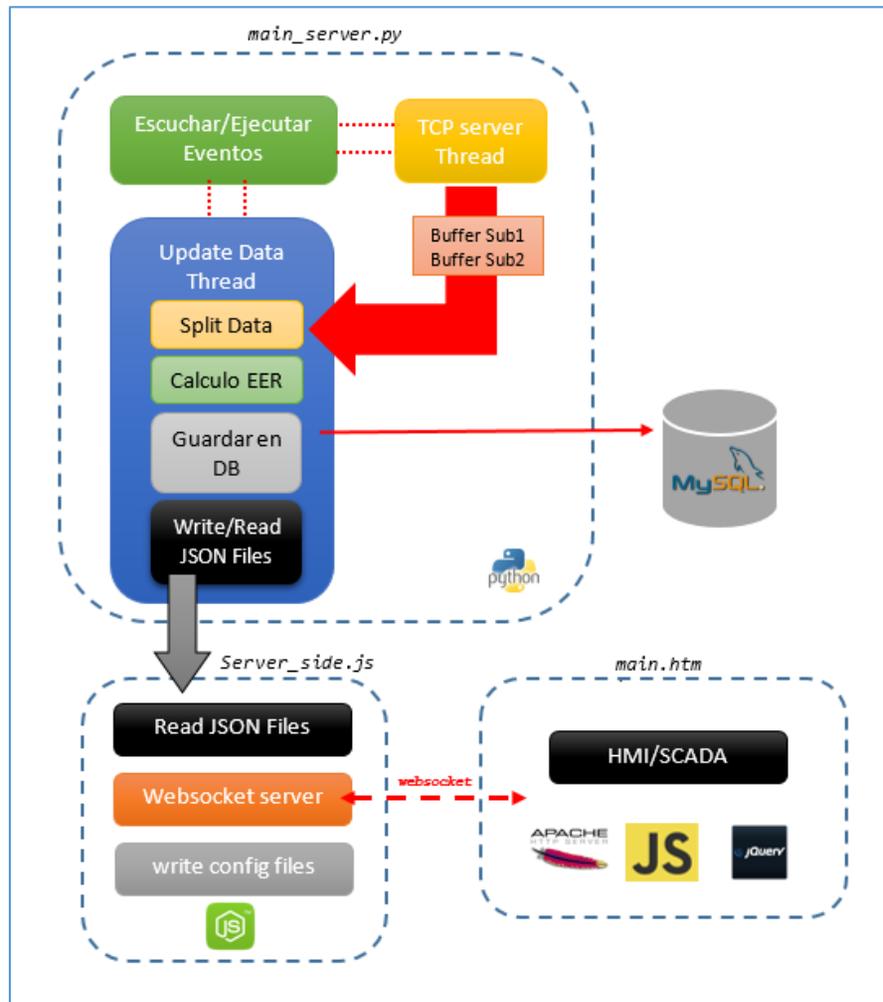


Figura 2.4-20. Diseño del sistema HMI/SCADA medidor EER.

El sistema HMI/SCADA fue diseñado empleando diferentes lenguajes de programación para desempeñar diferentes tareas. En la Figura 2.4-20 se muestra el esquema de las partes o módulos que conforman el sistema diseñado y la comunicación entre estas. El modulo “*main_server.py*” fue diseñado en Python y este despliega hilos o Threads que desempeñan las labores de comunicación, actualización de datos, cálculos, comunicación con los otros módulos, guardar y leer datos en la base datos.

El modulo hecho en NodeJS “*server_side.js*” sirve para comunicar y enviar los datos en tiempo real con la interfaz web del operador. Esto a través de la creación de websockets.

La interfaz web es desplegada por el servidor web Apache. Cuando esta interfaz es llamada por el navegador web se crea un socket con NodeJS y es así como se actualiza la información mostrada. Los distintos objetos que se muestran en la Figura 2.4-21 fueron creados con plugins y librerías de JavaScript (*Dygraph, EasyPieChart, Gauge.js, jQuery Sparkline, Peity, Custom Dash*).

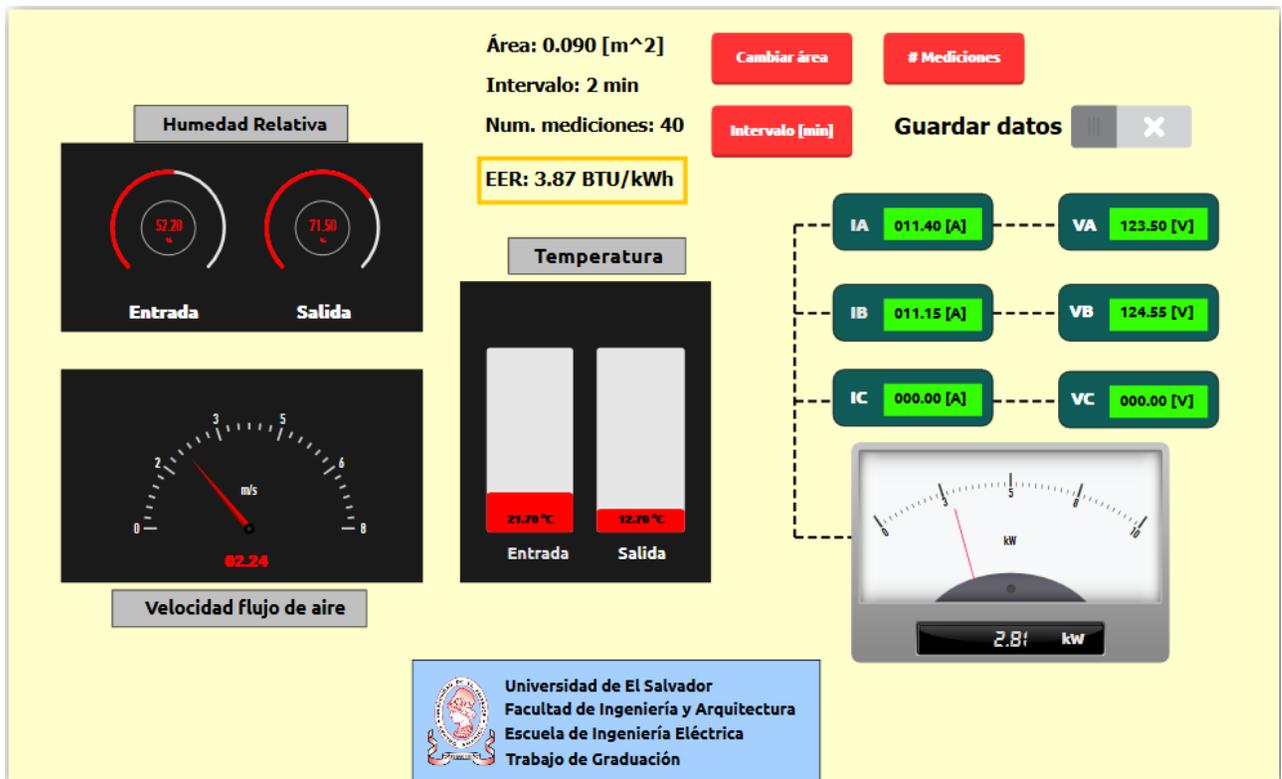


Figura 2.4-21. Presentación HMI sistema SCADA diseñado.

2.5. Sub-Sistema 1: Anemómetro, humedad y temperatura (Sensor RHT03).

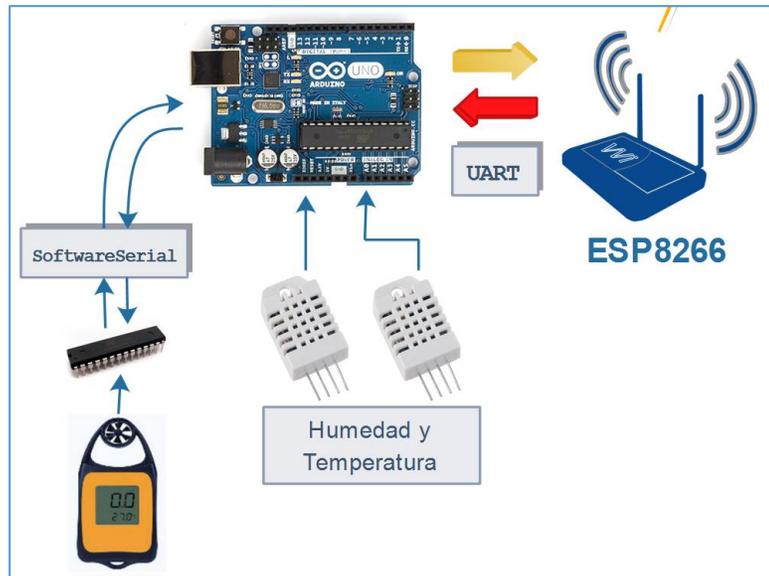


Figura 2.5-1. Esquema funcionamiento unidad 1.

El sub-Sistema 1 está conformada por una tarjeta Arduino UNO que es la encargada de interrogar los sensores de humedad relativa y temperatura (RHT03), también de interrogar al microprocesador que calcula la velocidad del flujo de aire. Para medir la velocidad del flujo de aire se utiliza un microprocesador Atmega 328P conectado con un sensor de efecto Hall bipolar. Dicho sensor está instalado sobre la base de las aspas giratorias de un anemómetro comercial. Se miden las revoluciones por minuto de la misma manera que lo hace el anemómetro comercial. Una vez realizada la medición de RPM se transforma a velocidad lineal y se comunica vía puerto UART con el Arduino UNO cuando este lo solicite. Puesto que el Arduino UNO solo posee un puerto UART y este se utiliza para comunicarse con el módulo WiFi ESP8266, se emula un nuevo puerto UART mediante la librería “*softwareSerial*” y de esta forma se transmiten los datos de la velocidad entre el ATmega 328P y el Arduino UNO.

2.5.1. Montaje de sensor RHT03.

Para instalar el sensor y sin soldar cable en sus terminales se usó una base de 4 pines la cual va montada en una placa de circuito impreso junto con un conector hembra tipo Jack stereo de 3.5mm, la cual se muestra en la Figura 2.5-4. Como el sensor RHT03 necesita de tres líneas para operar se utilizó dos conectores estándar plug hembra de 3.5 mm estéreo; uno para la conexión con la base del sensor y el otro para la conexión con el medidor.

En la Figura 2.5-2 y en la Figura 2.5-3 se muestra un esquema de las conexiones de los pines de los conectores. Para la conexión entre la base del sensor y el medidor se usó un cable de

audio comercial de 1.5m de largo, que en ambos extremo cuenta con un plug de 3.5mm macho.

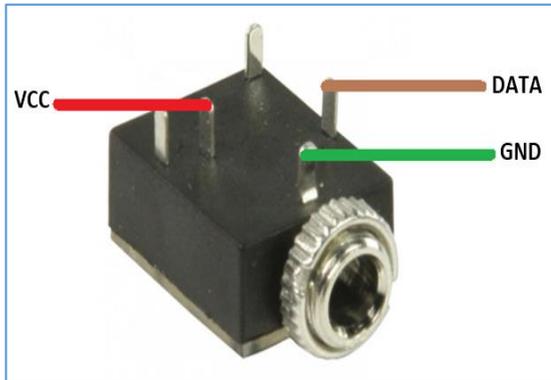


Figura 2.5-2. Conector hembra tipo Jack 3.5mm Stereo.

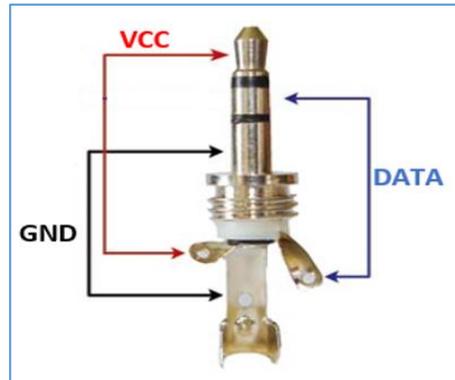


Figura 2.5-3. Configuración usada para espiga macho tipo plug 3.5mm Stereo.

Como ya se ha mencionado el sensor de humedad relativa (HR) y temperatura, se comunica con una interfaz digital de sólo un cable. El sensor está calibrado y no requiere componentes adicionales, solamente una resistencia pull-up entre el terminal de data y Vcc. En este caso el valor de la resistencia es de 10k Ω y va colocada en el circuito principal de esta unidad.



Figura 2.5-4. Montaje sensor RHT03 con cable de 1.5 metros.

2.5.2. Montaje para pinza de corriente.

En la Figura 2.2-12 se muestra la pinza de corriente utilizada para la medición de corriente (SCT016). Para facilitar la instalación de la pinza al medidor se instaló en ella una espiga macho tipo plug de 3.5mm estéreo (una espiga mono estéreo es útil también ya que solo se requiere 2 líneas); pero de las tres terminales que posee esta solo se utilizan dos. En la Figura 2.5-5 y la Figura 2.5-6 se muestra la configuración de ambos conectores (macho y hembra).



Figura 2.5-5. . Configuración de la espiga tipo plug 3.5mm de la pinza de corriente.

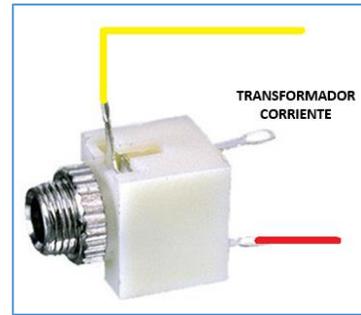


Figura 2.5-6. Conector hembra tipo plug 3.5mm para mono-Stereo.

2.5.3. Diseño circuito para prototipo sub-Sistema 1.

En la Tabla 2.5.1 se describe los pines utilizados de la tarjeta Arduino UNO rev3 para el diseño del prototipo; además de la una breve descripción de la función ejercida y con qué elemento está conectado. Para este diseño y para hacer un máximo uso de los escasos pines digitales que posee el Arduino UNO el teclado es analógico. La idea consiste en construir un divisor de tensión mediante el cual cada botón presionado entregue a la entrada analógica un único valor debido a la caída de tensión que ocasionan las resistencias en cada botón. Esto se muestra en el circuito de la Figura 2.5-7. De esta manera se utiliza solamente una entrada analógica en lugar de 5 entradas digitales. El botón de menú se ha colocado en el pin digital 2 ya que este es una interrupción física para el microcontrolador; de esta forma al presionarlo el microcontrolador ingresara al menú de la unidad de forma inmediata. Para conectar la unidad con el circuito del sensor Hall se hace por medio de un cable red recto con sus respectivos conectores RJ45; ya que se requieren de 4 líneas (TX, RX, VCC y GND). El circuito completo de este sub-Sistema junto con los respectivos conectores y resistencias pull-up se muestra en la Figura 2.5-7.

Tabla 2.5.1. Descripción de uso de pines Arduino UNO.

Pin	Función	Conexión
TX	Transmisión de datos a módulo ESP8266(wifi)	RX módulo ESP8266(wifi)
RX	Recepción de datos a módulo ESP8266(wifi)	TX módulo ESP8266(wifi)
D2	Interrupción 0 Arduino (botón Menú)	Pulsador en teclado
D4	CS	Pin LCD CS
D5	Reset	Pin LCD RST
D6	DC	Pin LCD DC
D7	DIN	Pin LCD DIN
D8	SCLK	Pin LCD SCLK
D9	Pin de data de sensor RHT03_2	Sensor RHT03_2
D10	RX_2 (recepción de data módulo anemómetro)	TX ATmega328P
D11	TX_2 (transmisión de data módulo anemómetro)	RX ATmega328p
D12	Pin de data de sensor RHT03_1	Sensor RHT03_1
A0	Lectura de teclado analógico	Teclado analógico

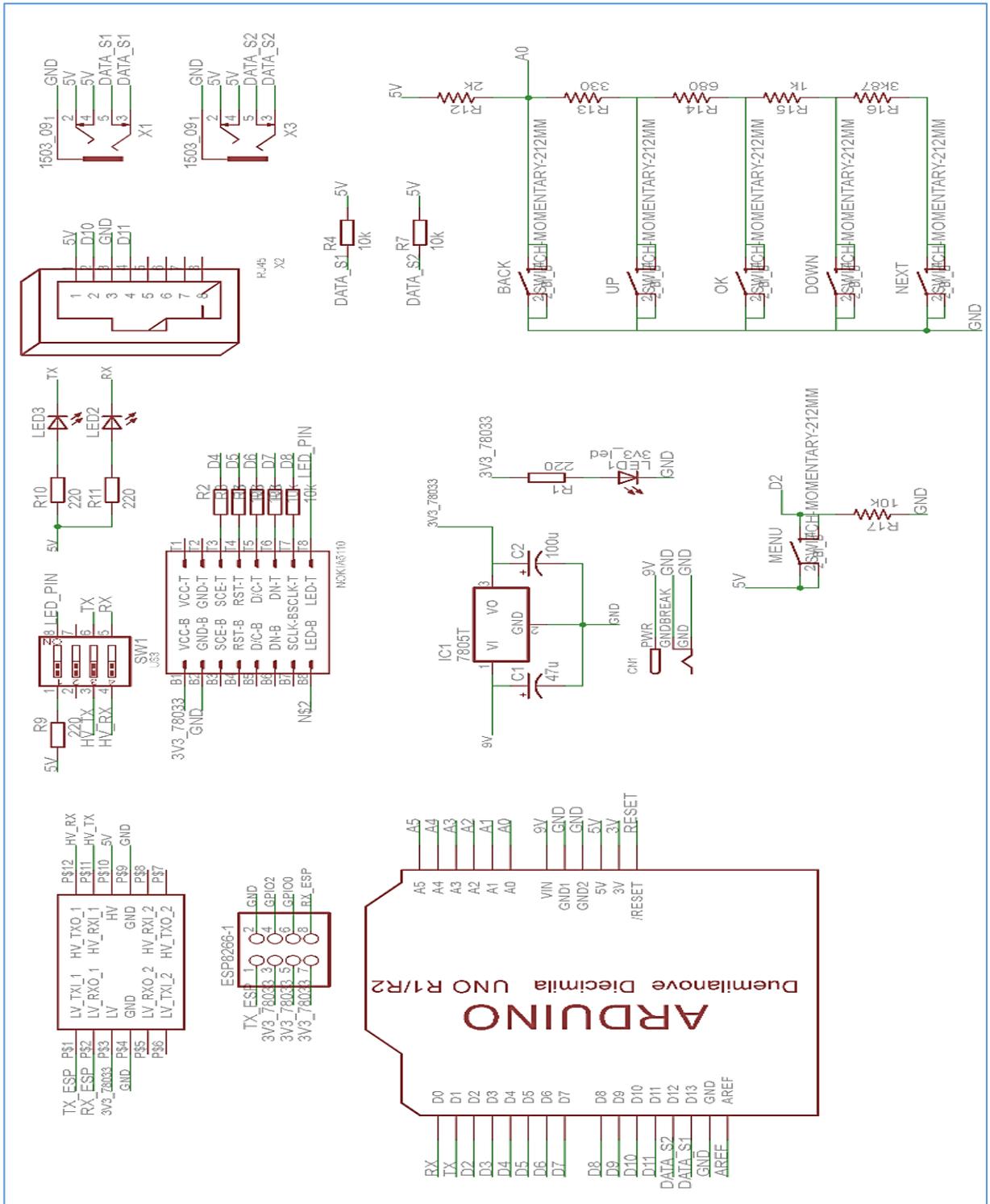


Figura 2.5-7. Diseño circuito sub-Sistema 1.



Figura 2.5-8. Parte frontal sub-sistema 1 (LCD y teclado).

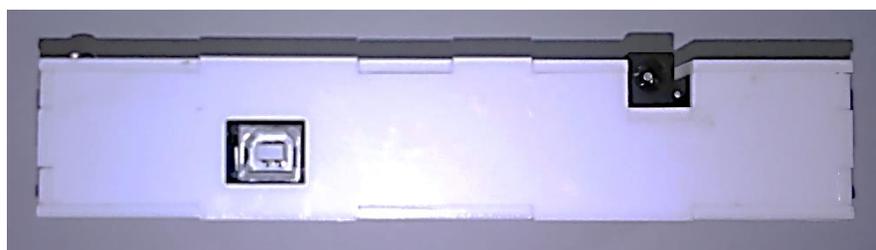


Figura 2.5-9. Parte lateral sub-sistema 1 (puerto USB y fuente).

2.5.4. Diseño del circuito para lectura de sensor de efecto Hall.

Como se muestra en la Figura 2.2-15 el sensor US1881 es tipo bipolar, lo que quiere decir que cuando se induce un campo de una polaridad la salida se activa y permanece de esa forma hasta que un campo de polaridad contraria se induce sobre él. Basándose en este principio se puede utilizar para la medición de la revoluciones por minuto; siendo este el principio con el que trabajan los anemómetros. Para utilizar el sensor se debe colocar una resistencia pull-up entre la fuente y el pin de salida como se muestra en la Figura 2.5-10. Valiéndose del uso de las aspas de un anemómetro comercial; se instaló el sensor de forma que el imán situado en las aspas del anemómetro comercial activara y desactivara la salida del sensor generando así una señal cuadrada. Esta señal va conectada a uno de los pines digitales del Atmega 328 que actúa como interrupción física; esto con el fin de medir las transiciones entre flanco de subida y de bajada de la señal y así medir las revoluciones por minuto. Luego una vez que se cuenta con la velocidad angular se procede a la conversión de velocidad lineal en m/s.

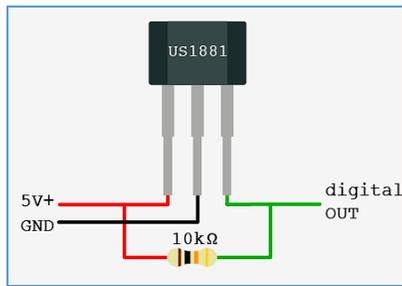


Figura 2.5-10. Circuito para sensor de efecto Hall U1881 [7].

En la Figura 2.5-11 se muestra el circuito empleado para el funcionamiento del Atmega 328 para el cálculo de la velocidad. Esta tarjeta se conecta con la unidad 1 (Arduino UNO) por medio de un cable de red UTP recto, para utilizar 4 líneas (VCC, GND, TX, RX) y comunicarse entre sí por el puerto UART.

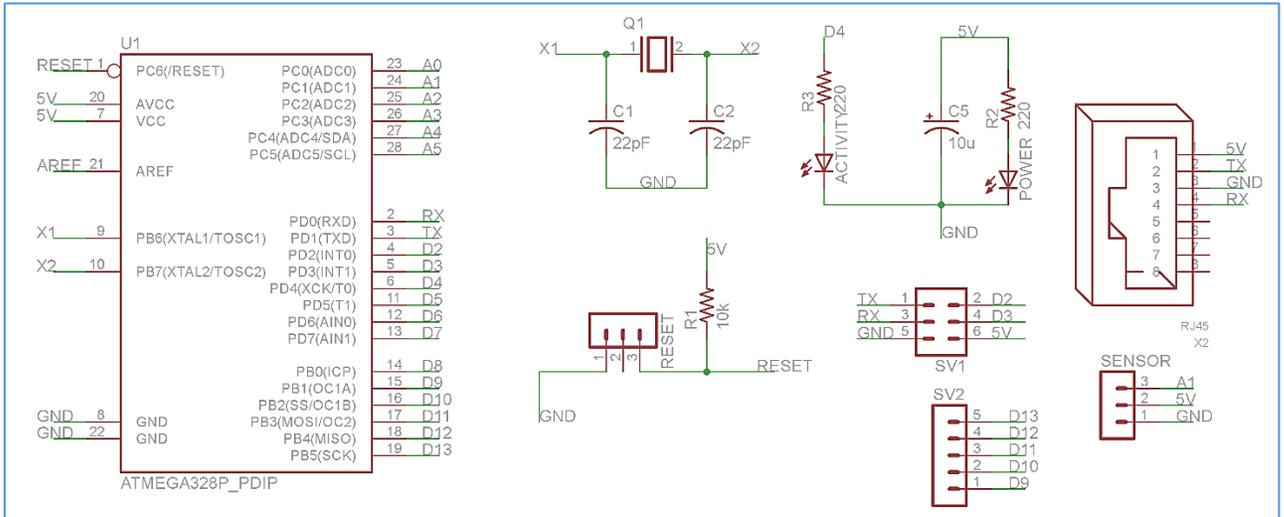


Figura 2.5-11. Diseño de circuito para lectura de sensor hall en anemómetro.

Ejemplo de código para el cálculo de RPM y velocidad línea:

```
int NbTopsFan;
int Calc;

int hallsensor = 2;

#define pi 3.1415926535897932384626433832795
#define radio 0.019

typedef struct{
    char fantype;
    unsigned int fandiv;
}fanspec;

//Definitions of the fans
```

```

fanspec fanspace[3]={{0,1},{1,2},{2,8}};

char fan = 1;

void rpm ()
{
  NbTopsFan++;
}

void setup()
{
  pinMode(hallsensor, INPUT);
  Serial.begin(9600);
  attachInterrupt(0, rpm, RISING);
}

void loop ()
{
  NbTopsFan = 0;
  sei(); // enable interrupts
  delay (1000);
  cli(); // disable global interrupts
  Calc = ((NbTopsFan * 60)/fanspace[fan].fandiv);
  Serial.print (Calc, DEC);
  Serial.print (" rpm\r\n");
  Serial.print("V[m/s]: ");
  Serial.println(getSpeed(Calc));
}

float getSpeed(int rpm){
  return radio*rpm*(pi/30.0);
}

```

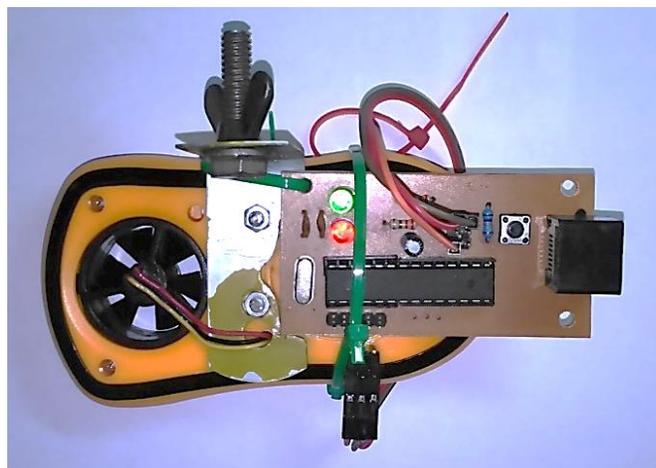


Figura 2.5-12. Circuito final y conexión anemómetro digital.

2.6. Sub-Sistema 2 y 3: Medidor de potencia (monofásica y trifásica).

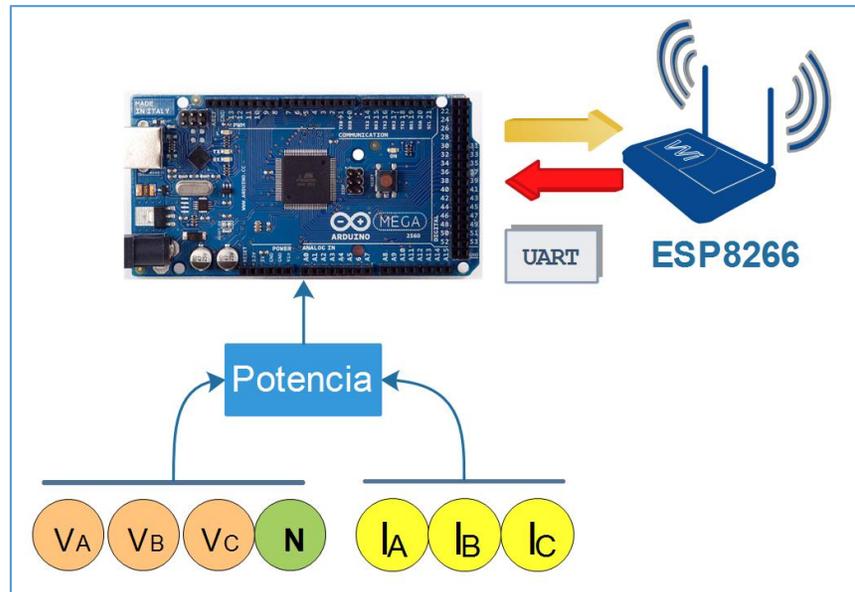


Figura 2.6-1. Esquema de unidad de medición de potencia.

Los sub-Sistemas 2 y 3 se encargan de la medición de corriente y voltaje para el cálculo de potencia. El uso de uno o de ambos medidores de potencia dependerá de la instalación eléctrica de la unidad de aire acondicionado bajo estudio. Esto es; porque hay unidades en donde el condensador y el resto de la unidad poseen una alimentación separada, y para el cálculo del EER es requerido la potencia eléctrica total. El medidor de potencia (sub-sistema 2) es capaz de realizar mediciones tanto en sistemas monofásicos como en sistemas trifásicos. Para lo cual está provisto de 3 pinzas de corriente para medir la corriente de 3 fases; además de 3 entradas para medición de voltaje, cada una con su respectiva línea neutra por separado para adaptarse a una conexión estrella o una conexión delta.

El componente principal de estos sub-sistemas es el Arduino Mega2560 que posee la suficiente cantidad de entradas analógicas para realizar todas estas mediciones. Dichas entradas analógicas están provistas de una resolución de 10 bits, lo cual es suficiente para realizar un muestreo adecuado de las señales de voltaje y corriente. Puesto que las entradas analógicas solo trabajan con voltajes positivos y con un rango de cero voltios al voltaje de referencia (máximo 5V) es necesario acoplar estas señales mediante un circuito.

El Arduino Mega se comunica sobre la red WiFi con el sub-Sistema principal por medio del módulo WiFi ESP8266-05. La visualización de las mediciones y las configuraciones se realizan por medio de una pantalla Nokia 5110/3110 y un pequeño teclado digital de 6 pulsadores.

2.6.1. Cálculo de resistencia de carga para transformador de corriente.

Los transformadores de corriente utilizados tienen una relación de transformación de 120A en el primario y 40mA en el secundario (120A:40mA). A la salida de este se obtendrá una corriente entre 0 y 40mA, dicha corriente debe transformarse a un equivalente en voltaje ya que las entradas analógicas solo censan voltaje. Para esto se utiliza una resistencia de carga que se conecta en paralelo a las terminales del transformador de corriente como se muestra en la Figura 2.6-2.

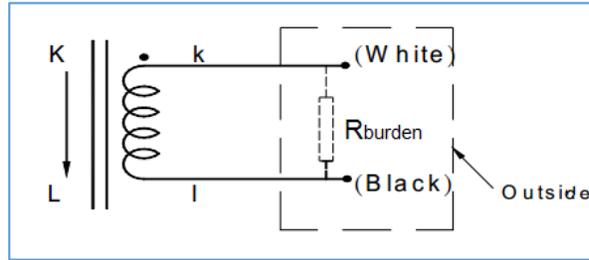


Figura 2.6-2. Transformador de corriente con resistencia de carga en paralelo [24].

No es recomendable utilizar valores muy grandes de resistencia ni muy pequeños; ya que se puede exceder el voltaje que soporta la entrada del ADC o este puede ser demasiado pequeño en comparación a la resolución del ADC.

Relación de transformación:

$$\frac{I_p}{I_s} = \frac{120A}{40mA} = 3000 = N \quad (19)$$

Asumiendo una corriente pico:

$$I_{primaria_pico} = 120A(\sqrt{2}) = 169.71A \quad (20)$$

Entonces:

$$I_{secundaria_pico} = \frac{120 * \sqrt{2}}{3000} = 56.57mA \quad (21)$$

Resistencia de carga ideal:

$$R_{Bidela} = \frac{\frac{V_{ref}}{2}}{I_{secundario_pico}} = \frac{5/2}{56.57mA} = 44.19\Omega \quad (22)$$

Entones escogiendo un valor comercial nos queda que la resistencia de carga es: $R_B = 40\Omega$. Con este valor de resistencia de carga se obtiene un valores de voltajes que van desde 0 voltios a 2.26 voltios.

2.6.2. Circuito de acoplamiento para medición de corriente.

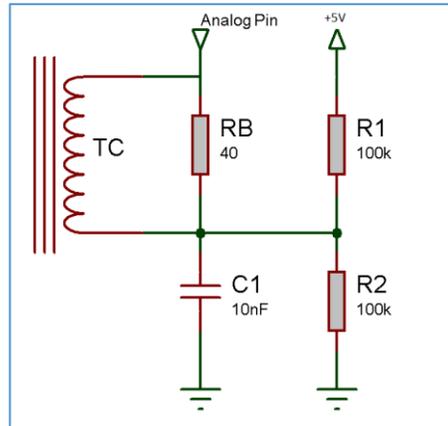


Figura 2.6-3. Circuito de acoplamiento de pinza de corriente.

Como ya se había mencionado los convertidores analógicos a digital en los microcontroladores utilizados no pueden leer valores AC; ya que solo pueden haber en sus entradas valores positivos de voltaje. Por esto es necesario colocar un circuito de acoplamiento para adecuar la señal y eliminar los flacos negativos de la señal AC sin alterar esta misma. Esto se hace mediante el circuito mostrado en la Figura 2.6-3. La Resistencia carga RB convierte la corriente del censoreda por la pinza a un voltaje equivalente.

Las resistencias R1 y R2 forman divisor de voltaje, introduciendo un offset de 2.5V a la señal original desplazándola eliminando los cruces por cero y la región negativa. El capacitor C1 sirve de bypass para la corriente AC y estabiliza el voltaje de offset. Ahora esta señal adecuada se introduce en uno de los pines analógicos de la tarjeta Arduino. Lo descrito se muestra en la Figura 2.6-4, el cambio de flanco de la señal se realiza en 2.5V; oscilando sobre este valor con un mínimo de 0.24V y un máximo de 4.76V. El offset implando con el circuito es eliminado durante el proceso de cálculo del valor RMS de la corriente mediante software.

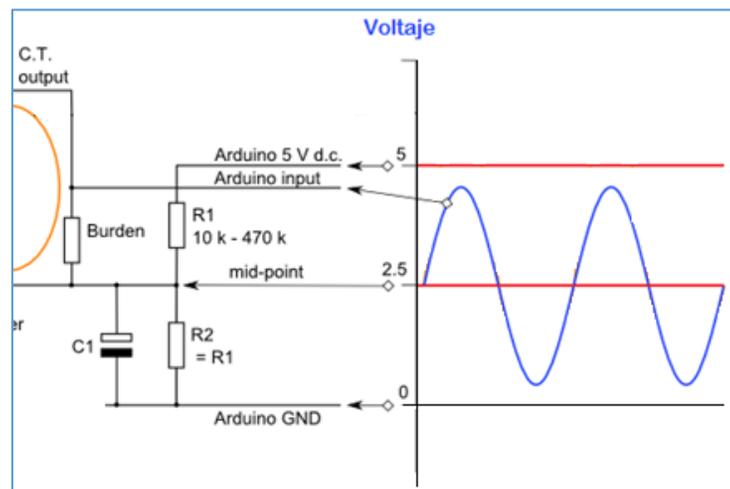


Figura 2.6-4. Funcionamiento del circuito de acoplamiento de la Figura 2.6-3 [12].

2.6.3. Circuito de acoplamiento para medición de tensión.

Para el caso de la medición de voltaje; además de desplazar la señal de tensi para eliminar los valores negativos es necesario reducir la amplitud de está a un nivel adecuado para la entrada analógica del Arduino. Esto se hace con un divisor de voltaje formado por RA y RB como se muestra en la Figura 2.6-5.

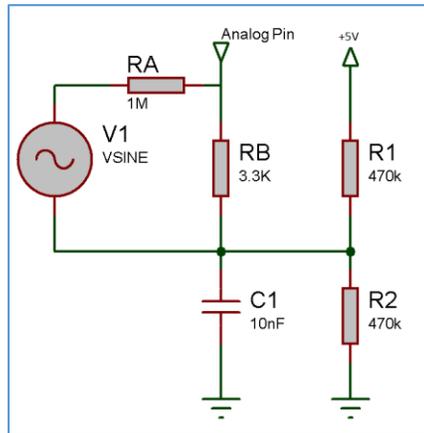


Figura 2.6-5. Circuito de acoplamiento medidor Voltaje.

Para calcular los valores de RA y RB se debe tomar en cuenta que luego de desplazar la señal con el circuito de acople, el valor máximo de amplitud que puede tomar es de 2.5V; teniendo esto en cuenta y si deseamos que la medición en el lado de alto voltaje tenga una amplitud máxima de 760V tendremos una relación de reducción de $N=304$. Relacionando R_A y R_B tenemos que:

$$V_{RB} = \frac{R_B}{R_A + R_B} * V1 \quad (23)$$

Si la relación de reducción es $N = V1/V_{RB} = 304$ y si se escoge un valor para $R_A = 1M\Omega$ podemos calcular el valor de R_B de la ecuación 21.

$$\frac{V1}{V_{RB}} = N = \frac{R_A + R_B}{R_B} \quad (24)$$

Despejando R_B de la ecuación anterior se tiene que:

$$R_B = \frac{R_A}{N - 1} = \frac{1M\Omega}{304 - 1} = 3300.33\Omega \quad (25)$$

Ajustando para un valor comercial tenemos que $R_B = 3.3k\Omega$.

Para el cálculo de la tensión y la corriente RMS se hace uso de la ecuación de la raíz cuadrática.

$$U_{rms} = \sqrt{\left(\sum_{n=0}^{N-1} u^2(n)\right)/N} \quad (26)$$

La potencia real es el promedio de la potencia instantánea.

$$P_{real} = \left(\sum_{n=0}^{N-1} I_{RMS}(n) * V_{RMS}(n)\right)/N \quad (27)$$

El algoritmo utilizado para calcular los valores de corriente RMS, tensión RMS y potencia real empleando las ecuaciones (26) y (27) es el que se muestra en la Figura 2.6-6.

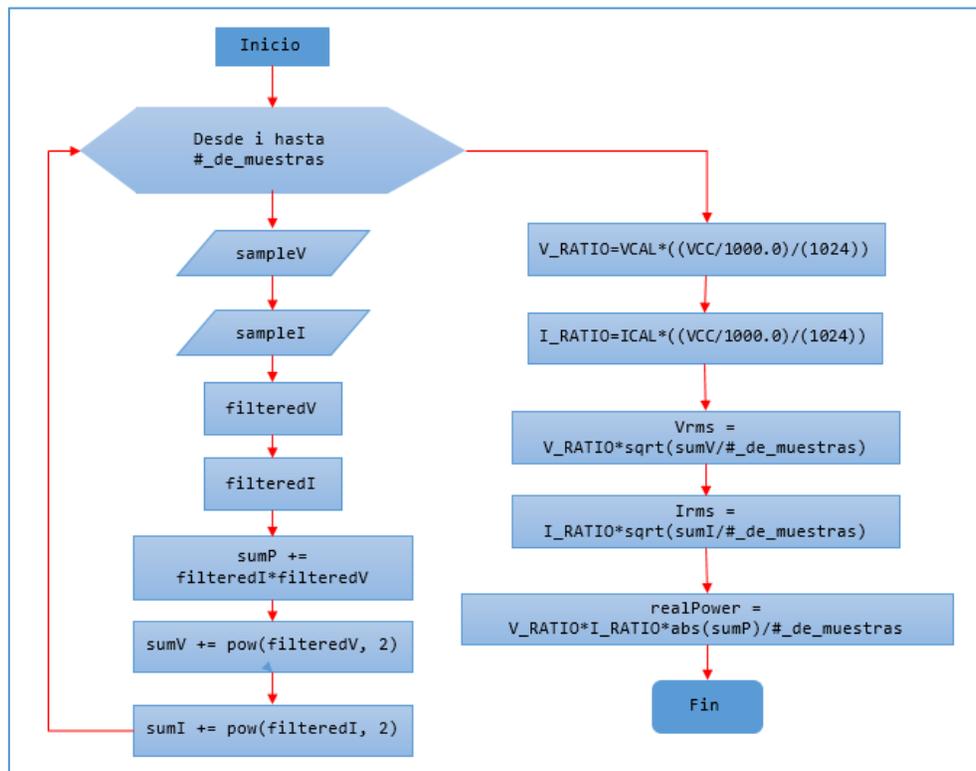


Figura 2.6-6. Algoritmo utilizado para el cálculo de Vrms, Irms, y potencia real.

2.6.4. Circuito prototipo de medidor de potencia (sub-Sistema 2).

En la Tabla 2.6.1 se describe los pines utilizados de la tarjeta Mega 2560 para el diseño del prototipo; además de la una breve descripción de la función ejercida y con qué elemento está conectado. Para simplificar el diseño de la carcasa de la unidad, la pantalla LCD y el teclado estarán en tarjetas de circuitos impresos diferentes a la del resto de la unidad conectadas entre sí mediante cables. El circuito completo de la unidad junto con los respectivos circuitos de acople se muestran en la Figura 2.6-8. El circuito del teclado digital se muestra en la.

Tabla 2.6.1. Descripción de uso de pines Arduino MEGA2560.

Pin	Función	Conexión
TX1	Transmisión de datos a módulo ESP8266(wifi)	RX módulo ESP8266(wifi)
RX1	Recepción de datos a módulo ESP8266(wifi)	TX módulo ESP8266(wifi)
D2	Interrupción 0 Arduino (botón Menú)	Pulsador en teclado digital
D4	CS	Pin LCD CS
D5	Reset	Pin LCD RST
D6	DC	Pin LCD DC
D7	DIN	Pin LCD DIN
D8	SCLK	Pin LCD SCLK
D9	Pin de data de sensor RHT03_2	Sensor RHT03_2
D11	Activar backLight LCD	Base transistor 2N2222
D19	RX_2 (recepción de data módulo anemómetro)	TX ATmega328P
D18	TX_2 (transmisión de data módulo anemómetro)	RX ATmega328p
D12	Pin de data de sensor RHT03_1	Sensor RHT03_1
D23	Pin para tecla LEFT	Pulsador en teclado digital
D25	Pin para tecla UP	Pulsador en teclado digital
D27	Pin para tecla DOWN	Pulsador en teclado digital
D29	Pin para tecla RIGHT	Pulsador en teclado digital
D31	Pin para tecla OK	Pulsador en teclado digital
A1	Medición de corriente fase A	Circuito de acoplamiento para pinza corriente
A2	Medición de corriente fase B	Circuito de acoplamiento para pinza corriente
A3	Medición de corriente fase C	Circuito de acoplamiento para pinza corriente
A4	Volteja Línea 1	Circuito de acoplamiento para medición de voltaje.
A5	Voltaje línea 2	Circuito de acoplamiento para medición de voltaje.
A6	Voltaje línea 3	Circuito de acoplamiento para medición de voltaje.

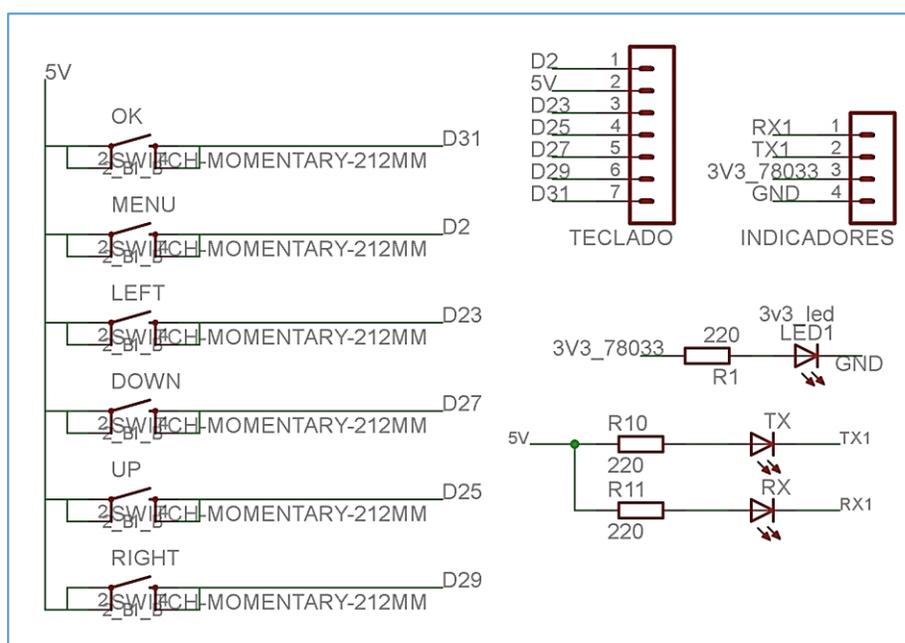


Figura 2.6-7. Diseño de circuito para teclado digital sub-sistema 2 y 3.

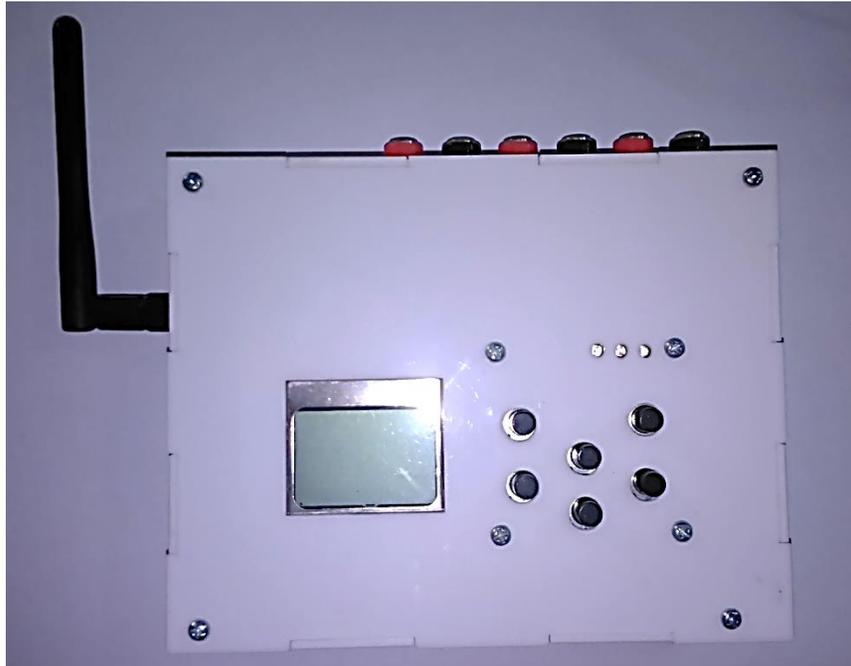


Figura 2.6-9. Parte frontal sub-sistema 2 (LCD, teclado y led's indicadores).

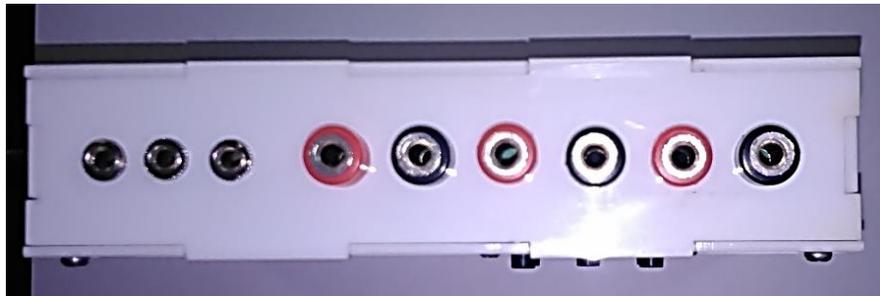


Figura 2.6-10. Parte superior sub-sist.2 (conectores CT y pinzas caimán para voltaje).



Figura 2.6-11. Parte lateral izquierda sub-sis.2 (antena, USB y fuente).

3. PRUEBAS Y RESULTADOS.

3.1. Instalación y uso de sub-sistemas medidor EER.

A continuación se detallan de los pasos a seguir para poner en funcionamiento el medidor EER. Primeramente se debe configurar el sub-sistema principal (Figura 3.1-4). Estas configuraciones se hacen por medio del puerto serial de la Raspberry Pi que se encuentra en la parte inferior del sub-sistema principal (Figura 2.4-16). Se conecta a dicho puerto el adaptador con el cable que se muestran en la Figura 2.4-19 y el otro cable a un puerto USB de la computadora.

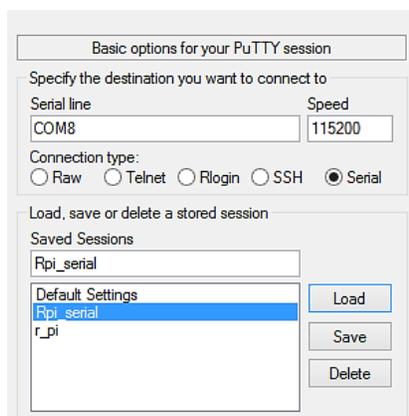


Figura 3.1-1. Configuración terminal serial en putty sistema Windows.

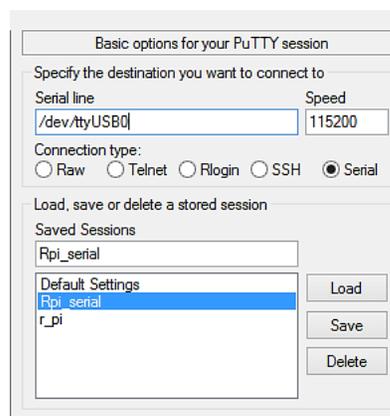


Figura 3.1-2. Configuración terminal serial en putty en sistema Linux.

Los siguiente es identificar el puerto asignado por el sistema operativo, seguidamente abrir el programa para utilizado para la conexión serial. En este caso se utiliza putty. Y en dicho programa configurar los siguientes parametros para la conexión con la Raspberry Pi: Speed (baud rate): 115200, bits: 8, paridad: None, Stop Bits: 1, flow Control: None. En la Figura 3.1-1 y en la Figura 3.1-2 se muestran las configuraciones en el programa putty para un sistema Windows y un sistema Linux respectivamente.

Una vez iniciada la conexión con putty tendremos una ventana con una terminal común. En esta terminal se debe ejecutar el siguiente comando:

```
sudo config_medidor
```

Al ejecutar el comando anterior aparece un menú como el de la imagen Figura 3.1-3 donde podremos configurar desde la conexión wifi hasta intervalo de mediciones. Con este menú primeramente configuramos la red wifi con la opción 2 o 3; ya que a través del sistema SCADA es más fácil configurar el medidor y a este se accede a través del navegador web por medio de la IP asignada por el router.

```
### __ OPCIONES __ ###
(0):Salir
(1):Información de la conexión
(2):Buscar redes disponibles
(3):Conectar a red de forma manual
(4):Adaptador WiFi
(5):Service Networking
(6):Ingresar área
(7):Intervalo de mediciones
-----
(8):Reiniciar Raspeberry pi
(9):Apagar Rasperry pi

Ingresar el índice de la opción
::>
```

Figura 3.1-3. Menú del script de configuración del medidor EER.

Una vez configurada la conexión WiFi del sub-sistema principal procedemos a activar los servicios iniciando por el servidor TCP. Esto se hace por medio de los botones que se encuentran en la parte frontal del sub-sistema principal como se muestran en la Figura 3.1-4. Se presiona el botón de menú hasta que los leds indicadores hagan un barrido de izquierda a derecha indicando que se ha ingresado al menú. Una vez en el menú hay que desplazarse con los botones laterales hasta la opción deseada. En este caso “TCP server ON”, una vez iniciado salimos del menú con el botón “Regresar”. Al salir el led que indica el estado de los clientes se encontrara en un parpadeo constante hasta que los demás sub-sistemas estén conectados al servidor TCP.



Figura 3.1-4. Sub-sistema principal en funcionamiento.

Una vez que tenemos preparada el sub-sistema principal, el siguiente paso es instalar, configurar y conectar los demás sub-sistemas en la unidad de aire acondicionado bajo estudio. Para el medidor de potencia (sub-sistema 2) primeramente se debe identificar en la instalación eléctrica el panel al que están conectados. Una vez identificado el panel se inspecciona el tipo de conexión (monofásica, bifásica o trifásica según sea el caso) y se procede a instalar las pinzas de corriente necesarias y las pinzas para medición de la tensión de las fases requeridas; como

se muestran en la Figura 3.1-5. Al tener todas las conexiones listas se inicia el sub-sistema y se conecta a la red WiFi accediendo al menú de configuraciones. Una vez conectado, en el mismo menú se configura los canales y fases utilizados y finalmente nos conectamos al sub-sistema principal.



Figura 3.1-5. Conexión sub-sistema 2 (medición de potencia).

Por último se procede a medir longitud y altura a la salida del evaporador para calcular el área de este. Posteriormente instalar los sensores de humedad y temperatura, así como también el anemómetro a salida y entrada del evaporador tal y como se establece en la sección 1.4 LINEAMIENTOS PARA MEDICIONES DE PARÁMETROS SEGÚN NORMAS. Un ejemplo de esto se puede apreciar en la Figura 3.1-6.



Figura 3.1-6. Instalación de sensores de humedad y temperatura y anemómetro.

Una vez instalado los sensores y anemómetro realizar las conexiones de estos con el sub-sistema 1 (Figura 3.1-7). Iniciar el sub-sistema 1, configurar la conexión WiFi y conectar al servidor TCP del sub-sistema principal.



Figura 3.1-7. Sub-sistema 1 para mediciones de humedad, temperatura y velocidad flujo de viento.

Una vez conectado todos los sub-sistemas al sub-sistema principal el led indicador pasara a estar encendido. Ahora se procede activar la petición de datos, para esto presionar el botón de “Data” (ultimo botón numerando de izquierda a derecha) hasta que led “Datos” quede en un parpadeo continuo. Con esto el sub-sistema principal interrogara a los demás sub-sistemas. Para ver los datos de las mediciones se accede al HMI mediante un navegador web como en la Figura 2.4-21. Una vez en el HMI se configura el valor del área del ducto de salida del evaporador y los parámetros para almacenar los datos y cálculos en la base de datos.

3.2. Resultados de las mediciones.

3.2.1. Sitios de prueba.

Para verificar el funcionamiento de este prototipo, se instaló en diferentes zonas de la Escuela de Ingeniería Eléctrica (de forma similar a como se explica en la sección 3.1), concretamente en las unidad de aire acondicionado que se encuentra en el laboratorio de telemática y en la unidad que se encuentra en el cubículo del Ing. Calderón. En dichos sitios se dejó operando el prototipo por espacio de 5 horas, tiempo durante el cual demostró su estabilidad y desempeño. A continuación se muestran los resultados de las mediciones.

Aire acondicionado instalado en el laboratorio de telemática.



Figura 3.2-1. Aire acondicionado tipo split instalado en el laboratorio de telemática.

Datos de la unidad de aire acondicionado evaluada:

- Modelo: YOEA 36FS-ADH
- Marca: YORK
- Capacidad: 36000 BTU/h
- Tipo: Split
- Área de la salida del evaporador: 0.0896 m²
- Promedio EER: 3.87 BTU/kWh

Tabla 3.2.1. Resultados de las mediciones del aire de la Figura 3.2-1.

Temp. entrada	Humedad relativa entrada	Temp. salida	Humedad relativa salida	Velocidad [m/s]	Área [m ²]	Potencia eléctrica [W]	EER [BTU/kWh]	Potencia de refrigeración [BTU/h]
21.7	48	12.5	67.9	2.415	0.0896	2769.83	4.1	11317.7
21.7	49.6	12.3	67.2	2.357	0.0896	2777.88	4.3	11970.8
21.7	49.4	12.7	68.1	2.185	0.0896	2805.92	3.7	10298.3
21.7	48.6	12.5	68.4	2.185	0.0896	2812.10	3.7	10329.3
21.8	48.1	12.5	69.1	2.300	0.0896	2806.05	3.9	10929.7
21.7	48.5	12.3	68.4	2.185	0.0896	2791.05	3.8	10602.7
21.7	49.4	12.5	69.9	2.127	0.0896	2801.52	3.6	10043.8
21.7	49.2	12.7	69.2	2.242	0.0896	2792.48	3.7	10329.6
21.6	50.4	12.7	69	2.127	0.0896	2790.63	3.6	9995.9
21.6	49	12.5	69.2	2.242	0.0896	2807.66	3.7	10416.3
21.6	48.1	12.4	68.4	2.300	0.0896	2792.33	3.8	10713.1
21.6	49.2	12.6	70.4	2.185	0.0896	2798.44	3.5	9865.1
21.6	50	12.5	71.1	2.242	0.0896	2789.55	3.7	10331
21.6	50.7	12.7	70.6	2.242	0.0896	2815.12	3.7	10360.6

21.7	52.2	12.7	71.5	2.242	0.0896	2810.14	3.8	10641.7
21.7	52.8	12.7	72	2.185	0.0896	2798.20	3.7	10458.4
21.7	52.3	12.8	72.9	2.242	0.0896	2791.01	3.7	10454.9
21.7	51.4	13	73.8	2.242	0.0896	2796.71	3.5	9723.8
21.7	53.4	12.6	71.5	2.242	0.0896	2811.90	4	11318.9
21.6	50.7	12.1	67.9	2.242	0.0896	2796.10	4.2	11726.6
21.5	48.2	11.7	66.9	2.357	0.0896	2802.45	4.4	12202.8
21.3	46.8	11.3	64.5	2.127	0.0896	2796.13	4	11231.7
21.2	45.6	11.1	64.3	2.242	0.0896	2798.33	4.2	11662.4
21	43.7	10.7	63	2.242	0.0896	2800.04	4.1	11582.8
20.9	42.7	10.5	61.9	2.242	0.0896	2810.47	4.1	11592.6
20.9	41.9	10.5	61.9	2.300	0.0896	2808.28	4.2	11666.8
21.6	51.5	15.6	59.5	2.357	0.0896	2808.14	3	8407.8
21.4	44.7	11.6	61.9	2.357	0.0896	2803.40	4.3	11946.6
21.3	43.4	11	61.9	2.242	0.0896	2797.63	4.2	11701.6
Entrada evaporador	Salida del evaporador					2.80	3.87	10821.49
						kW	BTU/kWh	BTU/h

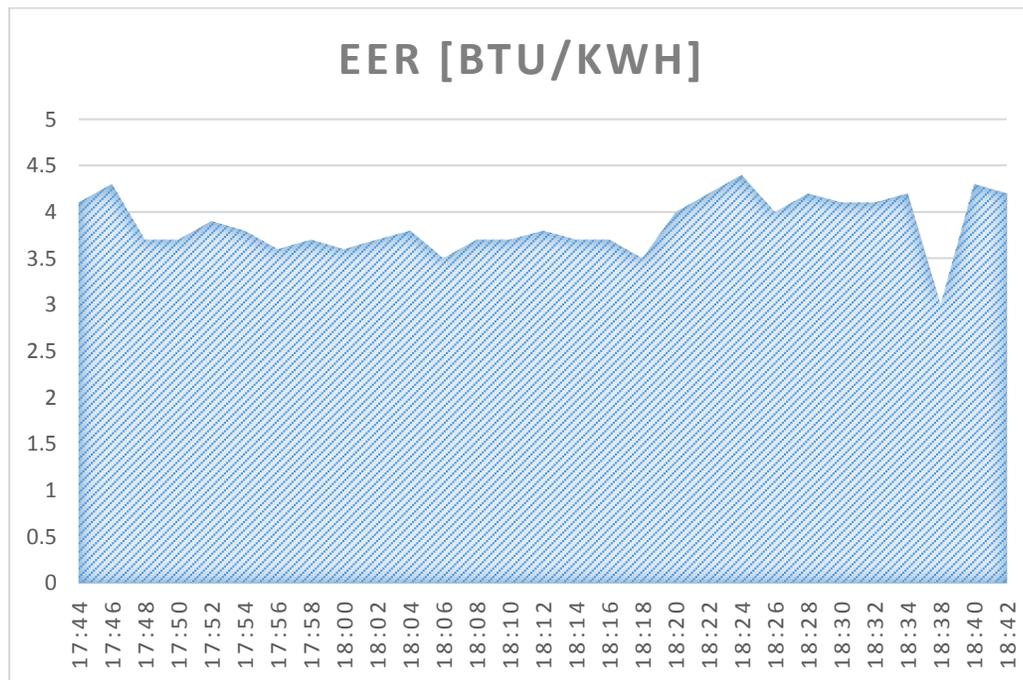


Figura 3.2-2. Gráfico de datos relación de eficiencia energética de la Tabla 3.2.1.

En la Tabla 3.2.1 se muestran los resultados de las mediciones almacenadas en la base de datos del medidor EER del aire acondicionado del laboratorio de telemática. En dicha tabla se puede apreciar que el valor promedio del EER es de 3.87 BTU/kWh. Este bajo rendimiento se puede deber a filtraciones del aire frío y por fuente de calor; ya que continúo a este laboratorio se encuentra otro laboratorio que durante el periodo de mediciones se encontraban

trabajando en soldadura de circuitos, adema que constantemente salían y entraban de este dejando la puerta abierta. Este comportamiento se puede apreciar de mejor manera en la gráfica del valor del EER de la Figura 3.2-2.

Aire acondicionado instalado en los cubículos de docentes.



Figura 3.2-3. Aire acondicionado tipo ventana instalado en el cubículo de docentes.

Datos de la unidad de aire acondicionado evaluada:

- Marca: WESTINGHOUSE
- Modelo: AS186L2C2
- Capacidad: 13000 BTU/h
- Tipo: Ventana
- Área de la salida del evaporador : 0.0475 m²
- Promedio EER medido : 5.391 BTU/kWh

Tabla 3.2.2. Resultados de las mediciones del aire acondicionado de la Figura 3.2-3.

Temperatura de entrada	Humedad relativa de entrada	Temperatura de salida	Humedad relativa de salida	EER	IRMS [A]	VRMS [V]	POTENCIA [W]
23.5	52.7	11.6	84.6	4.55	11.7	203.35	2379.19
23.4	52.5	9.4	86.9	5.57	11.6	203.95	2365.82
23	52.6	8.8	88.9	5.5	11.7	204.8	2396.16
22.7	53.1	8.4	88.9	5.61	11.6	205.68	2385.89
22.5	52.6	8.4	89.4	5.43	11.6	205.16	2379.86
22.4	52.1	8.2	89.4	5.47	11.6	203.48	2360.37
22.4	52	8.1	89.4	5.63	11.4	202.94	2313.52

22.2	51.7	8	89.3	5.49	11.5	202.77	2331.85
22.2	51.2	8	89.6	5.35	11.6	204.09	2367.44
22.2	51.4	7.9	89.6	5.43	11.6	203.52	2360.83
22.1	51.2	7.9	89.7	5.38	11.4	205.97	2348.06
22.1	51.6	7.9	89.6	5.36	11.5	206.63	2376.24
22.1	51	7.9	89.4	5.44	11.4	203.49	2319.79
22	50.5	7.8	89.4	5.33	11.4	205.61	2343.95
22.1	50.5	7.8	89.5	5.39	11.5	203.53	2340.59
21.9	50.7	7.8	89.4	5.28	11.5	204.2	2348.3
21.9	50.7	7.7	89.3	5.39	11.4	203.81	2323.43
21.9	50.4	7.7	89.5	5.36	11.4	203.7	2322.18
22	51	7.8	89.8	5.34	11.5	204.56	2352.44
22	51.1	7.8	89.6	5.43	11.4	203.54	2320.36
22.2	51.6	7.9	90	5.47	11.4	205.96	2347.94
22.2	50.9	8	90	5.27	11.5	207.14	2382.11
22.2	51.6	7.9	89.5	5.51	11.4	205.22	2339.51
22.2	51.4	8	89.9	5.41	11.4	205.54	2343.16
22.1	51.5	7.9	89.8	5.4	11.5	204.45	2351.17
22	51.5	7.8	89.3	5.47	11.4	204.05	2326.17
22	51.1	7.8	89.5	5.35	11.5	204.97	2357.15
22	51.4	7.8	89.8	5.29	11.6	206.18	2391.69
22	51.3	7.7	89.8	5.42	11.4	206.41	2353.07
21.9	51.3	7.7	89.7	5.41	11.4	204.65	2333.01
Entrada del evaporador		Salida del evaporador		5.391			2.35

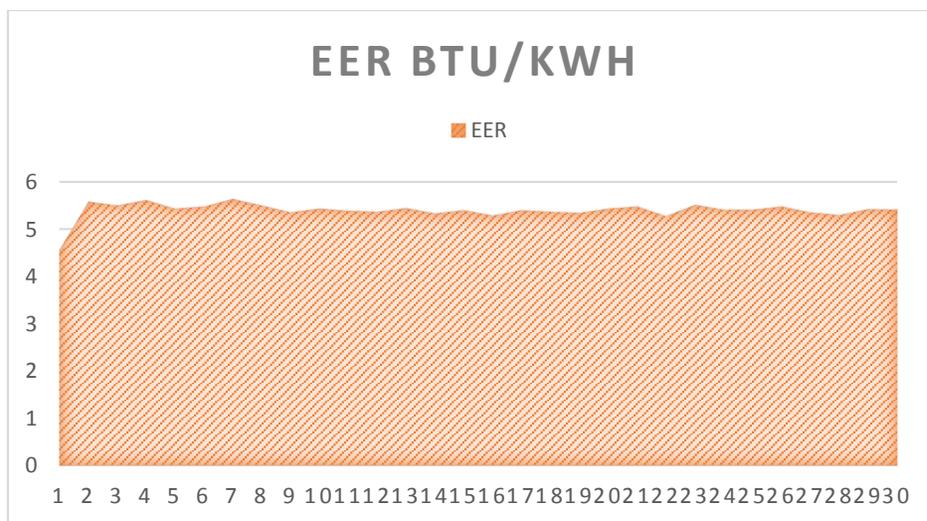


Figura 3.2-4. Gráfico de los datos de la relación de eficiencia energética (EER) de la Tabla 3.2.2.

En la Tabla 3.2.2 se muestran los resultados de las mediciones almacenadas en la base de datos del medidor EER del aire acondicionado instalado en el cubículo de docentes. En dicha tabla se puede apreciar que el valor promedio del EER es de 5.391 BTU/kWh. Se puede ver que a diferencia del aire de la Tabla 3.2.1 este tiene un mejor rendimiento. Esto se debe a que hay menos filtraciones de aire frío, así como también a que hay menos fuentes de calor. La habitación no se abre continuamente. Esto se puede apreciar en el comportamiento más estable que se aprecia en la gráfica de la Figura 3.2-4.

RECOMENDACIONES.

1. Siempre es recomendable aislar en el circuito de acoplé la etapa de mayor voltaje con la de menor voltaje. Con el fin evitar daños al microprocesador. Una forma de hacerlo es por medio de un transformador.
2. Para un mejor funcionamiento se puede instalar un sistema de alimentación asistido por baterías. Con el fin de asegurar su completa autonomía en caso de fluctuaciones o desconexiones en el sistema eléctrico; para que entre en operación de nuevo sin la necesidad de asistencia.

CONCLUSIONES.

- El parámetro EER permite establecer el desempeño de unidades de AA, lo que permite analizar costos de operación de los mismos o planificar acciones de mantenimiento sobre ellos, lo que resulta de gran importancia para la economía de las empresas.
- De igual forma, proporciona información muy útil para la optimización de sistemas de AA.
- El sistema propuesto, también permite recopilar diferentes tipos de datos, de una forma más ágil y eficiente, a partir de los cuales se puede determinar: consumo eléctrico, la potencia de refrigeración, el coeficiente de rendimiento, a lo largo de diferentes periodos de tiempo, para su posterior análisis, automatizando con ello el mantenimiento preventivo de este tipo de sistemas

BIBLIOGRAFÍA.

- [1] Sparkfun electronics (2015) Sparkfun [online] www.sparkfun.com
- [2] Adafruit Industries, Unique & fun DIY electronics and kits [online] www.adafruit.com
- [3] Arduino – Software [online] www.arduino.cc/en/Main/Software
- [4] Arduino Products [online] www.arduino.cc/en/Main/Products
- [5] Raspberry pi (2015) Raspberry pi [online] www.raspberrypi.org
- [6] Adafruit Industries, Raspberry pi (2015) [online] <https://www.adafruit.com/category/105>
- [7] US1881 - SparkFun Electronics [online] <https://www.sparkfun.com/products/9312>
- [8] Adafruit Industries, LCD with a Raspberry Pi (2014) [online] <https://learn.adafruit.com/nokia-5110-3310-lcd-python-library/overview>
- [9] GeekyTheory, Tutorial Raspberry Pi – 10. Configurar WiFi (2015) [online] <https://geekytheory.com/tutorial-raspberry-pi-configurar-wifi/>
- [10] Raspberrypi-spy, Adding a DS3231 Real Time Clock To The Raspberry Pi (2014) [online] <http://www.raspberrypi-spy.co.uk/2015/05/adding-a-ds3231-real-time-clock-to-the-raspberry-pi/>
- [11] Instituto Tecnológico de Monterrey, presentación, Energy Efficiency Ratio (EER) [online] www.mty.itesm.mx/dtie/deptos/ie/materias/e99-240/AA.ppt
- [12] Glyn Hudson, Proyecto medidor de energía open-source hardware & software, emonTx [online] <http://openenergymonitor.org>
- [13] ANSI-ASHRAE, «ANSI-ASHRAE 210.240. Performance Rating of Unitary Air-Conditioning & Air-Source Heat Pump Equipment,» 2008.
- [14] Capítulo Psicrométrica, ASHRAE FUNDAMENTALS 2013.
- [15] O. S. d. Normalización, Norma Técnica Salvadoreña NTS 23.47.08:14, San Salvador, 2014.
- [16] Tipos de sistemas de aire acondicionado [online] <http://www.elaireacondicionado.com/articulos/tipos-de-sistemas-de-aire-acondicionado>
- [17] Calor y frio, Sistemas de refrigeración aire acondicionado: compresión y absorción [online] <http://www.caloryfrio.com/aire-acondicionado/aire-instalaciones-componentes/sistemas-de-refrigeracion-compresion-absorcion.html>
- [18] ESP8266-community wiki [online] <http://www.esp8266.com/wiki/doku.php?id=esp8266-module-family>
- [19] Calor y frio, Aire acondicionado - Principios básicos [online] <http://www.caloryfrio.com/aire-acondicionado/aire-instalaciones-componentes/aire-acondicionado-principios-basicos.html>

[20] Manual de prácticas e implementación de un banco de pruebas para equipos de aire acondicionado tipo ventana [online] <http://docplayer.es/7703245-Trabajo-practico-tecnico.html>

[21] NERGIZA. EER, COP, SEER y SCOP, Midiendo la eficiencia del aire acondicionado [online] <http://nergiza.com/eer-cop-seer-y-scop-midiendo-la-eficiencia-del-aire-acondicionado/>

[22] Airetec, Tipos de aire acondicionado central [online] <http://www.airetec.com.gt/?PAGE=8>

[23] Universidad de El Salvador, FIA, escuela de Ing. Eléctrica; Adaptación de una metodología basada en normas Internacionales para el cálculo de eficiencia en unidades de aire acondicionado de expansión (2015).

[24] YHDC, split core current transformer AC current clamp [online] www.yhdc.com/en/product/351

[25] Características de un aire acondicionado [online] <http://www.visitacasas.com/habitaciones/caracteristicas-de-un-aire-acondicionado-tipo-split/>

[26] <http:// analisisbioclimaticos.blogspot.com/2012/02/carta-psicrometica.html>

[27] DLP-USB232M, <http://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/DLP/dlp-usb232m14.pdf>

ANEXOS.

ANEXO A. Configuraciones iniciales Raspberry Pi.

Preparando la tarjeta SD para la instalación de Raspbian.

La tarjeta SD es donde la Raspberry Pi mantiene el sistema operativo y también es donde se guardan los documentos y programas. El tamaño mínimo que debe poseer la tarjeta SD donde se instalara el sistema operativo es de 4GB.



Figura A 1. Raspberry Pi modelo B rev2 [6].

La distribución debe ser descargado de la página: “<http://www.raspberrypi.org/downloads/>”. Al ingresar se debe escoger una distribución acorde a la versión de la Raspberry Pi que se tenga, ya que algunas versiones de sistemas operativos podrían requerir más recursos para una óptima ejecución. En este caso se instalara Raspbian. Esta es una distribución basada en Debian y que requiere de pocos recursos: además que es la más común y todas las configuraciones descritas en este documento están basadas en esta distribución. El archivo a descargar estará en formato zip; lo siguiente es descomprimir el archivo y obtener el archivo de la imagen con extensión img. Lo primero será preparar la tarjeta de memoria SD. Para esto existe un programa muy útil disponible para Windows vista o 7.

Paso 1: Descargar Fedora ARM Instalador del siguiente enlace:

http://fedoraproject.org/wiki/Fedora_ARM_Instalador#Windows_Vista_.26_7

Paso 2: extraer el programa del paso 1 y ejecutar fedora-arm-instaler-2.exe como administrador

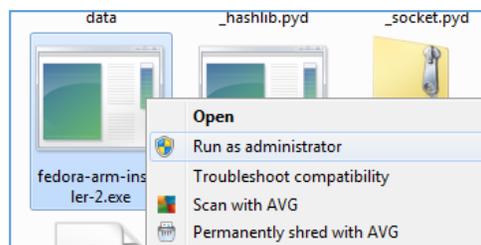


Figura A 2. Ejecución de programa fedora-arm-instaler-2 [6].

Esto ejecutara la aplicación y mostrara la siguiente ventana:

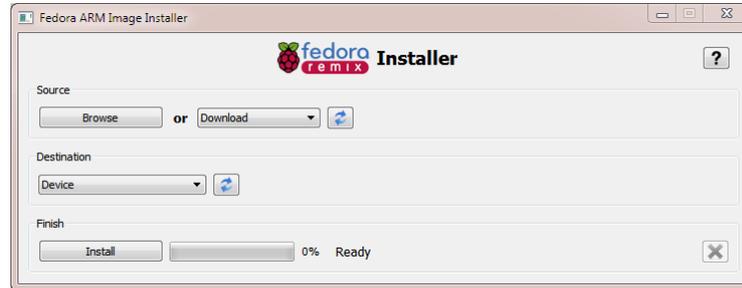


Figura A 3. Ventana principal fedora-arm-instaler-2 [6].

Paso 3: seleccionar el archivo de la imagen y el dispositivo. Para hacer esto, hacer click en el botón "Browse" y navegar hasta el archivo .img y luego seleccionar el dispositivo de la lista emergente.

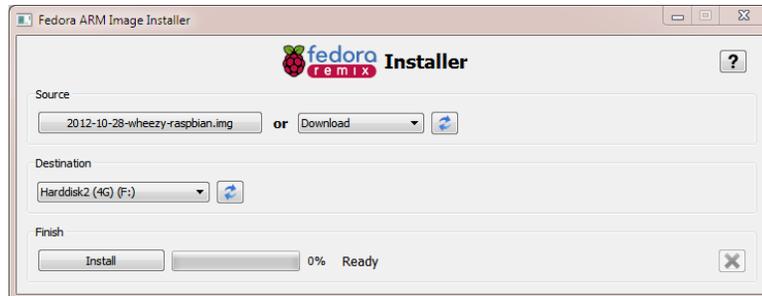


Figura A 4. Selección de imagen de Raspbian [6].

Verificar que se ha seleccionado el dispositivo correcto, ya que este será formateado, y entonces hacer click en "Install". La instalación se tomara algunos minutos, pero una vez que la tarjeta SD esta lista, se verá algo como lo siguiente:

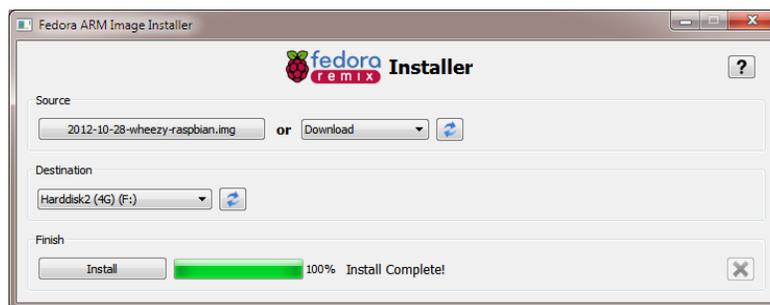


Figura A 5. Finalización del proceso de instalación [6].

Paso 4: Eso es todo al respecto. Su tarjeta SD está lista para su uso en el Raspberry Pi. Retirar la tarjeta del ordenador he introducirlo en la ranura de la Raspberry.

Configuración de Wi-Fi con la línea de comandos.

A continuación se describen los pasos para la configuración del adaptador WiFi de la Raspberry Pi sobre Raspbian. Previamente se debió conectar la tarjeta a un monitor y teclado o por medio del cable Ethernet y SSH. Arrancar el Raspberry Pi sin el adaptador Wi-Fi conectado.

Modificar el archivo "interfaces":

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

Una vez en el archivo 'interfaces' realizar los cambios que se muestran a continuación:

```
auto lo

iface lo inet loopback
iface eth0 inet dhcp

allow-hotplug wlan0
auto wlan0

iface wlan0 inet dhcp
    wpa-ssid "ssid"
    wpa-psk "password"
```

Si se está utilizando una SSID oculto intente lo siguiente:

```
auto lo

iface lo inet loopback
iface eth0 inet dhcp

auto wlan0
allow-hotplug wlan0
iface wlan0 inet dhcp
    wpa-scan-ssid 1
    wpa-ap-scan 1
    wpa-key-mgmt WPA-PSK
    wpa-proto RSN WPA
    wpa-pairwise CCMP TKIP
    wpa-group CCMP TKIP
    wpa-ssid "My Secret SSID"
    wpa-psk "My SSID PSK"

iface default inet dhcp
```

Luego de guardar los cambios y cerrar el archivo "interfaces", se debe apagar la Raspberry Pi, conectar el adaptador WIFI y iniciar de nuevo la Raspberry.

Para averiguar la dirección IP asignada por el router se ejecuta el comando:

```
sudo ifconfig
```

Y nos mostrara una salida similar a la mostrada en la imagen:

```
wlan0    Link encap:Ethernet  Hwaddr 00:0f:53:a0:04:57
         inet addr:192.168.1.10  Bcast:192.168.255.255  Mask:255.255.0.0
         UP BROADCAST RUNNING MULTICAST  MTU:1500  Metric:1
         RX packets:136 errors:0 dropped:0 overruns:0 frame:0
         TX packets:52 errors:0 dropped:0 overruns:0 carrier:0
         collisions:0 txqueuelen:1000
         RX bytes:11995 (11.7 KiB)  TX bytes:6016 (5.8 KiB)
```

Figura A 6. Salida del comando 'ifconfig' con adaptador WiFi configurado.

Configuración GPIO (entradas/salidas de propósito general)

Los pines GPIO pueden ser usados como entradas y como salidas. Como salida se puede configurar un pin específico en un nivel alto (High=3.3V) o bajo (LOW=0V). Los pines GPIO pueden manejar una cantidad pequeña de corriente. Para programar los puertos GPIO en Python, es necesario instalar la librería llamada "rpi.GPIO". Este módulo nos provee de una forma sencilla de controlar los pines GPIO.

Primero actualizamos la lista de paquetes:

```
sudo apt-get update
```

Para instalar RPI.GPIO. Primero se debe instalar el kit de herramientas de desarrollo de Python que requiere RPI.GPIO:

```
sudo apt-get install python-dev python-rpi.gpio
```

Otra forma de instalar la librería es por medio de "python-pip"; para esto procedemos a instalar "pip" y sus respectivas dependencias:

```
sudo apt-get install python-pip python-dev build-essential
```

Y por último instalamos la librería RPI.GPIO:

```
sudo pip install RPi.GPIO
```

Configuración puerto SPI.

Primero se elimina de la lista negra el módulo SPI:

```
sudo nano /etc/modprobe.d/raspi-blacklist.conf
```

En el archivo se busca la línea "blacklist spi-bcm2708" y la comentamos:

```
# blacklist spi and i2c by default (many users don't need them)
#blacklist spi-bcm2708
#blacklist i2c-bcm2708
blacklist snd-soc-pcm512x
blacklist snd-soc-wm8804
```

Figura A 7. Contenido archivo raspi-blacklist.conf.

Posterior a esto se procede a reiniciar el Raspberry:

```
sudo reboot
```

Una vez iniciada la Raspberry se ejecuta:

```
ls -l /dev/spidev*
```

Y se debe obtener un resultado como el que se muestra a continuación:

```
pi@pi2 ~ $ ls -l /dev/spidev*
crw-rw---T 1 root spi 153, 0 Jan 1 1970 /dev/spidev0.0
crw-rw---T 1 root spi 153, 1 Jan 1 1970 /dev/spidev0.1
```

Figura A 8. Lista de dispositivos SPI encontrados.

Se debe mostrar dos dispositivos, uno para cada bus SPI. Con esto quedaría configurado el puerto SPI para la comunicación con la pantalla LCD Nokia.

Configuración interface I2C.

I2C es un bus de comunicación diseñado para permitir a un chip hablar con otros mediante el uso de dos líneas (SDA, SCL). El bus I2C permite que múltiples dispositivos estén conectados a la Raspberry, cada una dirección de memoria única.

Para hacer esto en la Raspberry Pi debemos instalar i2c-tools:

```
sudo apt-get update
sudo apt-get upgrade
sudo apt-get install python-smbus i2c-tools
```

Instalar el soporte del núcleo o Kernel. Esto se puede hacer de dos formas. Uno mediante el uso de *raspi-config* o de forma manual desde la terminal.

- **Mediante el uso de Raspi-config.**

Ejecutar en una terminal:

```
sudo raspi-config
```

Y siga las instrucciones para instalar el soporte I2C para el núcleo ARM y el núcleo Linux.

Seleccionar “Advanced Options”:

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 Enable Boot to Desktop/Scratch	Choose whether to boot into a desktop environment,
4 Internationalisation Options	Set up language and regional settings to match you
5 Enable Camera	Enable this Pi to work with the Raspberry Pi Camera
6 Add to Rastrack	Add this Pi to the online Raspberry Pi Map (Rastra)
7 Overclock	Configure overclocking for your Pi
8 Advanced Options	Configure advanced settings
9 About raspi-config	Information about this configuration tool

Figura A 9. Pantalla de configuración raspi-config.

Luego seleccionar la opción “A7 I2C”:

```
A1 Overscan    You may need to configure overscan if black bars are present on display
A2 Hostname   Set the visible name for this Pi on a network
A3 Memory Split Change the amount of memory made available to the GPU
A4 SSH        Enable/Disable remote command line access to your Pi using SSH
A5 Device Tree Enable/Disable the use of Device Tree
A6 SPI        Enable/Disable automatic loading of SPI kernel module (needed for e.g. PiFace)
A7 I2C        Enable/Disable automatic loading of I2C kernel module
A8 Serial     Enable/Disable shell and kernel messages on the serial connection
A9 Audio      Force audio out through HDMI or 3.5mm jack
A0 Update     Update this tool to the latest version

                <Select>                                <Back>
```

Figura A 10. Pantalla de la opción: Advanced Options. .

Confirmar seleccionando “Yes” y presionar ENTER:

```
Would you like the ARM I2C interface to be enabled?

                <Yes>                                <No>
```

Figura A 11. Dialogo de confirmación para activar interface I2C.

Habilitar que el módulo I2C del kernel sea cargado al arranque de la Raspberry:

```
Would you like the I2C kernel module to be loaded by
default?

                <Yes>                                <No>
```

Figura A 12. Dialogo para confirmar módulo I2C al arranque.

Por ultimo reiniciamos la Raspberry.

- **Instalar el soporte i2c de forma manual:**

En la terminal:

```
sudo nano /etc/modules
```

Agregar las dos líneas al final del archivo:

```
i2c-bcm2708
i2c-dev
```

Como se muestra a continuación:

```
## /etc/modules: kernel modules to load at boot time.
#
# This file contains the names of kernel modules that should be loaded
# at boot time, one per line. Lines beginning with "#" are ignored.
# Parameters can be specified after the module name.
snd-bcm2835
i2c-bcm2708
i2c-dev
```

Figura A 13. Contenido archivo “modules”.

Guardamos los cambios con Ctrl+O y Enter y salimos con Ctrl+x y Enter.

Ahora se debe modificar el archivo `raspi-blacklist.conf` para que los módulos se carguen al iniciar el sistema:

```
sudo nano /etc/modprobe.d/raspi-blacklist.conf
```

Buscar en el archivo las líneas `blacklist spi-bcm2708` y `blacklist i2c-bcm2708` para y comentarlas y activar estos módulos al arranque del sistema:

```
#blacklist spi-bcm2708  
#blacklist i2c-bcm2708
```

Guardamos los cambios con Ctrl+O y Enter y salimos con Ctrl+x y Enter.

Si se está utilizando una Raspberry Pi con una versión más reciente del sistema operativo (un núcleo 3.18 o superior) se necesita modificar el archivo `"/boot/config.txt"`:

```
sudo nano /boot/config.txt
```

Y agregar al final de este:

```
dtparam=i2c1=on  
dtparam=i2c_arm=on
```

Contenido Archivo `config.txt`:

```
Hdmi_drive=2  
# uncomment to increase signal to HDMI, if you have interference, blanking, or  
# no display  
#config_hmdi_boost=4  
  
# uncomment for composite PAL  
#sdtv_mode=2  
  
# uncomment to overclock the arm. 700 Mhz is the default  
#arm_freq=900  
  
Dtparam=i2c1=on
```

Una vez terminado reiniciar:

```
sudo reboot
```

Prueba del Bus I2C.

Si se está utilizando una Raspberry Pi modelo B con 512MB el puerto I2C es el 1:

```
sudo i2cdetect -y 1
```

```
root@raspberrypi:~# sudo i2cdetect -y 1
   0  1  2  3  4  5  6  7  8  9  a  b  c  d  e  f
00:  -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --
10:  -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --
20:  -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --
30:  -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --
40: 40 -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --
50:  -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --
60:  -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --
70: 70 -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --
root@raspberrypi:~#
```

Figura A 14. Resultados de la prueba de detección de la interface I2C.

La imagen muestra que dos direcciones I2C están en uso; la 0x40 y 0x70. Si se usa una Raspberry Pi modelo B con 250MB el puerto I2C es el 0:

```
sudo i2cdetect -y 0
```