

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



**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN ANALIZADOR DE
EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA EQUIPOS DE AIRE
ACONDICIONADO DE EXPANSIÓN CON MONITOREO
REMOTO POR APLICACIÓN MÓVIL**

PRESENTADO POR:

**LUIS EFRAÍN GARCÍA TOBÍAS
ÁLVARO ENRIQUE LÓPEZ ARRIOLA
LUIS FERNANDO MORATAYA ROMERO**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO ELECTRICISTA

CIUDAD UNIVERSITARIA, NOVIEMBRE 2022

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR INTERINO :

MSC. ROGER ARMANDO ARIAS

SECRETARÍA GENERAL:

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO :

PHD. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA

SECRETARIO :

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

DIRECTOR :

ING. WERNER DAVID MELÉNDEZ VALLE

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 :

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN ANALIZADOR DE
EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA EQUIPOS DE AIRE
ACONDICIONADO DE EXPANSIÓN CON MONITOREO
REMOTO POR APLICACIÓN MÓVIL**

Presentado por :

**LUIS EFRAÍN GARCÍA TOBÍAS
ÁLVARO ENRIQUE LÓPEZ ARRIOLA
LUIS FERNANDO MORATAYA ROMERO**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

DR. ING. CARLOS OSMÍN POCASANGRE JIMENEZ

San Salvador, Noviembre 2022

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

DR. ING. CARLOS OSMÍN POCASANGRE JIMENEZ

NOTA Y DEFENSA FINAL

En esta fecha, viernes 11 de noviembre de 2022, en la Sala de Lectura de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, a las 4:00 p.m. horas, en presencia de las siguientes autoridades de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador:

1. Ing. Werner David Melendez
Director



Firma

2. MSc. José Wilber Calderón Urrutia
Secretario

por 

Firma



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

- DR. CARLOS OSMIN POCASANGRE JIMÉNEZ
(Docente Asesor)



Firma

- ING. MARVIN GERARDO JORGE HERNANDEZ



Firma

- MSC. HUGO MIGUEL COLATO



Firma

Se efectuó la defensa final reglamentaria del Trabajo de Graduación:

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN ANALIZADOR DE EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO DE EXPANSIÓN CON MONITOREO REMOTO POR APLICACIÓN MÓVIL

A cargo de los Bachilleres:

- GARCÍA TOBÍAS LUIS EFRAÍN

- LÓPEZ ARRIOLA ÁLVARO ENRIQUE

- MORATAYA ROMERO LUIS FERNANDO

Habiendo obtenido en el presente Trabajo una nota promedio de la defensa final: 9.1
(**Nueve punto uno**)

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Dr. Carlos Osmín Pocasangre Jimenez por habernos guiado a lo largo del desarrollo de todo el proyecto de investigación, sumado a la paciencia y comprensión para abordar nuestras inquietudes en todo momento y así, poder llevar este trabajo de graduación a su culminación.

Como equipo, extendemos un agradecimiento especial a la Ing. Ileana Paula Rosa, gerente general y fundadora de COENERGY S.A. de C.V. por darnos la oportunidad de poder llevar a cabo las pruebas necesarias de nuestro proyecto de tesis en sus instalaciones, ya que de no haber sido así, no habríamos podido completar los detalles de nuestro proyecto de tesis en su etapa final.

En primer lugar, deseo expresar mi agradecimiento a Dios todo poderoso por no haberme dejado solo en todo este camino para obtener mi título de ingeniero electricista, a mi madre por tenerme siempre en sus oraciones y mi padre por enseñarme a valorar cada momento difícil de la vida, ya que sin la presencia y apoyo de ellos no hubiera tenido la motivación del deseo de superación. Así mismo, agradezco a todas las personas que creyeron siempre en mí y que de una u otra forma me brindaron palabras de aliento.

Así también, agradezco grandemente a mis compañeros y amigos de tesis, por haber compartido alegrías y tristezas, pero sobre todo haber desarrollado todos los trabajos universitarios con éxitos.

Agradecer grandemente a todos los ingenieros de la escuela de ingeniería eléctrica, que con dedicación y vocación me enseñaron conocimientos de alta calidad.

A todos, muchas gracias.

Luis Efraín García Tobías

Todo el trabajo realizado fue posible gracias al apoyo incondicional que se me brindó desde el día en que decidí emprender este viaje. Agradezco a mi madre, mi hermana y mi padre por siempre haber estado ahí en toda mi carrera; agradezco encarecidamente al Ing. Israel Bautista Merino por ser la primera persona dentro de la universidad que confió en mi potencial, a todos los amigos que conocí en el camino, a mi increíble equipo de tesis con el cual trabajamos juntos desde mucho antes de comenzar con nuestro proyecto de graduación.

Nada de esto hubiera sido posible sin ustedes.

A todos ustedes, les digo GRACIAS.

Álvaro Enrique López Arriola

Durante el largo recorrido que ha sido mi carrera, la persona más importante a quien puedo agradecer es a mi madre Sandra Elizabeth Romero Pérez, por su paciencia, esfuerzo y apoyo incondicional a lo largo de toda mi carrera, por estar ahí en los momentos más difíciles y nunca haber dejado de creer en mis capacidades tanto personales, académicas y profesionales. A mi primo Guillermo Romero, por ser ese núcleo familiar tan importante en mi vida junto con mi madre. Sin ellos no hubiera sido capaz de poder tener esa motivación para poder salir adelante.

A mis amigos y a mi grupo de estudio, por su apoyo, por haberme acompañado en mi proceso de formación, por alegrar ese camino tan difícil y acompañarme cuando yo los necesité, asimismo ayudarme y verme progresar como persona.

De la misma manera, agradezco a mis compañeros, a la vez amigos, que vamos en este trabajo de graduación, por su paciencia y esfuerzo, quienes estuvimos desde el inicio de nuestra carrera apoyándonos y superando cualquier prueba hasta el final, y ahora, compartiendo el desarrollo y finalización de esta etapa en nuestras vidas.

Solo me queda decirles Gracias.

Luis Fernando Morataya Romero

ÍNDICE

Objetivos.....	II
Alcances.....	II
Abreviaturas y acrónimos.....	III
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.....	3
1.2 Componentes de un aire acondicionado.....	5
1.3 Tipos de aire acondicionado.....	8
1.3.1 Aire acondicionado portátil sin unidad exterior.....	8
1.4 Coeficientes de rendimiento para sistemas de aire acondicionado: concepto de COP y EER. 10	
1.5 Teoría sobre el cálculo de la EER.....	11
1.5.1 La relación de Eficiencia Energética (Energy Efficiency Ratio, EER).....	11
1.5.2 Unidades de potencia empleadas en refrigeración: Btu y toneladas de refrigeración 12	
1.5.3 Cálculo del EER de una unidad de aire acondicionado.....	13
1.6 Lineamientos para la medición de EER.....	17
1.6.1 Preparación de la unidad de AA.....	17
1.6.2 Medición del área del ducto de salida del evaporador.....	18
1.6.3 Temperatura y humedad de salida.....	19
1.6.4 Temperatura y humedad de entrada.....	20
1.6.5 Velocidad del viento.....	20
1.6.6 Potencia eléctrica.....	21
2 Solución.....	22
2.1 Propuesta de diseño para el sistema de analizador EER.....	22
2.2 Descripción de los componentes.....	23
2.2.1 Arduino MEGA 2560.....	23
2.2.2 Módulo WiFi ESP8266 (ESP-01).....	24
2.2.3 Basic 5V 20x4 character LCD – Negro sobre verde (GDM2004D).....	26
2.2.4 CATALEX Micro SD Card Adapter v1.0.....	26
2.2.5 Reloj de tiempo Real (Real Time Clock en inglés o RTC).....	27
2.2.6 Sensor de Temperatura y Humedad relativa (DHT11).....	28

2.2.7	Sensor de corriente No Invasivo SCT-013 30A/1V (Transformador de Corriente)..	30
2.2.8	Transformador de voltaje	31
2.2.9	Anemómetro.....	32
3	Equipo Analizador.....	32
3.1	Analizador de EER.....	33
3.2	MONITOREO REMOTO DE EER	34
3.2.1	Subsistema principal	35
3.2.2	Subsistema de medición remota:.....	35
3.2.3	Aplicación Móvil.....	36
3.3	Diseño actual del Analizador EER.....	36
3.3.1	Sensor de corriente adicional	36
3.3.2	Sustitución del teclado	37
3.3.3	Diagrama esquemático	39
3.3.4	Diseño para los módulos sensores.....	40
3.3.5	Adiciones al programa principal	40
3.4	Ficha técnica.....	43
3.4.1	Hoja técnica para el subsistema principal	43
3.4.2	Hoja técnica para los módulos sensores	44
3.5	Desarrollo de Aplicación Móvil.....	45
3.5.1	Funcionamiento de la Aplicación Móvil.....	45
3.5.2	Modificación de los parámetros de medición.....	46
3.5.3	Interfaz gráfica de la Aplicación Móvil.....	49
4	MANUAL DE USO DEL ANALIZADOR	50
4.1	Funciones del teclado.....	50
4.1.1	Funciones por cada pulsador	51
4.2	Pasos para el proceso de medición con el analizador de EER.	53
5	PRUEBAS Y RESULTADOS	58
5.1	Prueba preliminar	58
5.1.1	Interpretación de los resultados.....	59
5.2	Primera prueba.	60
5.2.1	Interpretación de los resultados.....	61
5.3	Segunda prueba.	62
5.3.1	Estadístico de los resultados.....	63
5.3.2	Interpretación de los resultados.....	66

5.4	Comparación entre los equipos de AA medidos	67
5.5	Costo Final del equipo.....	68
6	RECOMENDACIONES	69
7	CONCLUSIONES	70
8	REFERENCIAS	71
9	ANEXOS.....	74
9.1	Registro de mediciones para el Cubículo Docentes EIE-UES	74
9.2	Registro de mediciones para el equipo del Salón posgrados EIE-UES.....	77
9.3	Cómo comenzar a programar el módulo ESP8266	80
9.3.1	Instalación de firmware para el ESP8266	80
9.3.2	Instalación del Board Manager para tarjetas ESP8266 en el IDE de Arduino	82
9.4	Comunicación Cliente-Servidor entre módulos ESP8266	83
9.4.1	Código para los clientes	84
9.4.2	Código para el servidor	86
9.5	Realización de una Aplicación Móvil para Android con AppInventor	90
9.6	Conexión de la Aplicación móvil con la red WiFi local	94
9.7	Modificaciones del Analizador EER antes del diseño actual	96
9.7.1	Reemplazo del Arduino que controlaba los componentes del Analizador EER	97
9.7.2	Gabinete para los módulos sensores.....	99
9.7.3	Funcionamiento del Analizador EER con baterías.....	99
9.7.4	Reguladores de baja caída de voltaje	100
9.7.5	Baterías utilizadas	101

Índice de Tablas

Tabla 1: Ventajas y desventajas de las sustancias pares en sistemas de absorción.....	5
Tabla 2: Variables y constantes utilizadas en el cálculo del EER.....	14
Tabla 3: Características técnicas de Arduino MEGA 2560.....	24
Tabla 4: Descripción de pines del ESP8266	26
Tabla 5: Características técnicas del sensor DNT11.....	29
Tabla 6: Características técnicas del sensor TC.....	31
Tabla 7 Hoja técnica para el subsistema principal.....	43
Tabla 8 Hoja técnica para los módulos sensores	44
Tabla 8 Hoja de datos de medición del equipo de AA del Cubículo de docentes de la EIE-UES. Información extraída de [5].....	58
Tabla 9 Hoja de datos de medición del equipo de AA de la Sala de Posgrados de la EIE-UES. Información extraída de [5].....	60
Tabla 10 Hoja de datos de medición del equipo de AA.....	62
Tabla 11 Registro de mediciones de EER para la segunda prueba de AA.....	65
Tabla 12 Cuadro comparativo para los distintos tipos de AA medidos.....	67
Tabla 13 Lista de materiales utilizados para elaboración del Analizador EER.....	68
Tabla A.1 Registro de mediciones de EER para la prueba preliminar. Extraído de [5].....	76
Tabla A.2 Registro de mediciones de EER para la primera prueba. Extraído de [5]	79
Tabla A.3 Duración promedio de las baterías.....	101

Índice de Figuras

Figura 1: Representación de las toneladas de refrigeración.....	12
Figura 2: Esquema de las variables medidas para el cálculo del EER (Tecnológico de Monterrey).....	13
Figura 3: Posición correcta de difusores para la medición.....	17
Figura 4: Área de conducto de salida de A/C tipo ventana.....	18
Figura 5: Área de salida de A/C tipo Split.	18
Figura 6: Medición correcta del área de salida de A/C tipo Split.	19
Figura 7: Distancia de medición de temperatura y humedad relativa a la salida del A/C ..	19
Figura 8: Distancia de medición de temperatura y humedad relativa a la entrada del A/C	20
Figura 9: Medición de velocidad del flujo de aire acondicionado.	21
Figura 10: Medición de potencia eléctrica.	22
Figura 11: Diagrama de procesos del equipo analizador	23
Figura 12: Arduino MEGA 2560.	23
Figura 13: Catalex micro sd card adapter v1.0.....	26
Figura 14: Arreglo de conexión de pines para el puerto ICSP.....	27
Figura 15: Reloj de tiempo real y circuito típico de operación.	28
Figura 16: Forma física del sensor DHT11	29
Figura 17: Sensor de corriente	30
Figura 18: Transformador de voltaje monofásico	31
LP-423. 120/9V, 120/18V, 240/9V, 240/18V.	31
Figura 19: Anemómetro Mastech MS6252B	32
Figura 20: Analizador de EER.	34
Figura 21: Diagrama operativo de los elementos que componen el equipo analizador de EER.....	35
Figura 22 Arreglo para la entrada analógica A2 del Arduino	36
Figura 23 Circuito de acondicionamiento de la señal del TC	37
Figura 24 Teclado analógico	38
Figura 25 Diagrama esquemático del teclado analógico.....	38
Figura 26 Teclado digital 4x4, a la izquierda su diagrama esquemático.....	39
Figura 27 Diagrama esquemático para el subsistema principal del Analizador EER	39
Figura 28 Diagrama para los módulos sensores	40
Figura 29 Opción Id. Equipo AA	41

Figura 30 Opción MagnitudMedic	41
Figura 31 Opción Intervalo Med	41
Figura 32 Opción ResumenConfig.....	42
Figura 33 Ventana de tension y corriente.....	42
Figura 34 Diagrama de procesos de la aplicación móvil.....	46
Figura 35 Diagrama de bloques para la función de envío de solicitud de cambio de parámetros.	47
Figura 36 Diagrama de bloques para la decodificación de variables medidas por el equipo analizador.....	48
Figura 35: Texto recibido por la aplicación para su posterior decodificación.	48
Figura 37 Solicitud interceptada por el terminal del IDE de Arduino	49
Figura 38 Interfaz gráfica de la aplicación móvil.....	50
Figura 39 Teclado digital 4x4.	51
Figura 40: Pantalla para configurar la hora y fecha del Analizador EER.	53
Figura 41: Pantalla para configurar el número de identificación del AA a medir.	53
Figura 42 Pantalla para parametrizar la velocidad de flujo de aire del conducto de ventilación.	54
Paso 4	54
Figura 43 Pantalla para configurar el área del conducto de ventilación del aire acondicionado.....	54
Figura 44: Pantalla para configurar la unidad de tiempo para el intervalo de mediciones.	55
Figura 45: Pantalla para configurar la duración de los intervalos de medición y la duración del periodo de medición.	55
Figura 46: Pantalla para observar las configuraciones aplicadas para los intervalos de medición.	56
Figura 47: Pantalla de mediciones de temperatura y humedad de los sensores, corriente y tensión del AA.....	56
Figura 48: Pantalla del EER con el número de mediciones.	57
Figura 49 Gráfica generada a partir del registro de EER de la Tabla 7.....	59
Figura 50: Capturas de pantalla con mediciones vista desde la App para la primera prueba.	61
Figura 51: Fotografías vistas desde el Analizador para las lecturas de voltaje, corriente, temperatura y humedad.	61
Figura 52: Capturas de pantalla para la segunda prueba.	63
Figura 53: Fotografías del Analizador para la segunda prueba.....	63

Figura 54 Gráfica generada a partir del registro de EER de la Tabla 7.....	66
Figura A.1 Diagrama de conexiones para el ESP8266 hacia el Arduino UNO funcionando como adaptador.....	80
Figura A.2 Ventana principal para el ESP8266 Flasher Tool.	81
Figura A.3 Introducción de la URL indicada en el punto 2 en la ventana de Preferencias. 82	
Figura A.4 Selección del módulo WiFi a utilizar desde el menú de Herramientas.....	82
Figura A.5 Esquema principal de funcionamiento de la conexión Cliente-Servidor.	83
Figura A.6 Búsqueda de la página de AppInventor	90
Figura A.7 Página principal de AppInventor	90
Figura A.8 Ventana de introducción de usuario.....	91
Figura A.9 Lista de proyectos creados	91
Figura A.10 Interfaz de desarrollo visual de App Inventor.....	92
Figura A.11 Entorno de programación por bloques de AppInventor.....	93
Figura A.12 Barra de notificaciones del dispositivo móvil.....	94
Figura A.13 Búsqueda de redes WiFi	94
Figura A.14 Dispositivo móvil conectado a la red WiFi del Analizador EER.....	95
Figura A.15. Diseño inicial del Analizador EER. Fotografía de la Figura 22 en [2]......	96
Figura A.16 Funcionamiento del Analizador EER mejorado con el AA del Laboratorio de Telemática. Apartado 6.2 de [4].	97
Figura A.17 Prueba del Analizador EER, con el programa principal migrado hacia el Arduino Leonardo.	98
Figura A.18 Prueba de los módulos sensores con el nuevo diseño.	99
Figura A.19 Prueba del Analizador EER con batería.....	100
Figura A.20. AMS1117, regulador LDO de 3.3V.....	101
Figura A.21 Módulos sensores con el nuevo diseño de baterías utilizado.....	101

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, los sistemas de aire acondicionado han cambiado la forma en la que funcionan, como tecnologías que buscan alcanzar la mayor capacidad de enfriamiento al menor consumo energético posible. En toda la trayectoria que se ha llevado a cabo para migrar a tecnologías más eficientes para los sistemas de aire acondicionado se ha necesitado tener conocimiento de forma cuantitativa sobre la eficiencia energética que puede manejar un equipo de aire acondicionado, por medio de indicadores y parámetros medibles.

Uno de los indicadores mayormente utilizados para conocer el rendimiento y la eficiencia de un equipo de AA es la EER (Energy Efficiency Ratio, o Relación de Eficiencia Energética en inglés), la cual relaciona la capacidad de enfriamiento del equipo de AA con la potencia eléctrica de entrada de dicha unidad.

Para poder conocer dicho indicador, es necesario realizar mediciones de potencia de entrada del equipo de AA, temperatura y humedad de entrada del evaporador y salida del mismo; asimismo conocer variables físicas como el área del conducto donde sale el aire del evaporador y la velocidad del aire que sale de ese mismo conducto.

Con lo mencionado anteriormente, en este trabajo de graduación se realizará el diseño y la implementación de un instrumento de medición que se encargue de realizar el muestreo de las variables más importantes utilizadas para medir el indicador de EER (o en pocas palabras, analizador EER) para equipos de aire acondicionado de expansión. Para el diseño actual, se trabajará desde un prototipo de analizador EER con una funcionalidad limitada a poder utilizarse solamente para equipos de aire acondicionado tipo ventana de forma alámbrica, sin embargo, el equipo será rediseñado para operar de forma remota en AA de expansión, la forma de desarrollar el monitoreo de los parámetros medidos por dicho analizador será a través de una aplicación móvil, para añadir una mayor versatilidad a la hora de poner en marcha el analizador.

Objetivos

General

- Diseñar un analizador de Eficiencia energética para equipos de aire acondicionado de expansión, que sea capaz de realizar el monitoreo de EER y de los datos censados de forma remota a través de una aplicación móvil.

Específicos

- Rediseñar la circuitería del analizador de EER con el que se trabajará para adaptarlo a la serie de mejoras que serán llevadas a cabo en el mismo.
- Estudiar los lenguajes utilizados para el diseño y programación de aplicaciones móviles y aplicaciones web.
- Realizar la instrumentación para añadir un sensor de corriente de manera que pueda ser capaz de detectar desbalances en el suministro de potencia del equipo de AA que se mediría.
- Refinar la manera en la cual es alimentado el analizador, de manera que sea posible realizar su alimentación por medio de baterías de forma confiable, con una duración de tiempo prudencial para el tiempo que sea necesario realizar las sesiones de medición.

Alcances

Elaborar el rediseño de la circuitería del analizador EER por medio de herramientas CAD como EAGLE y circuitos de referencia como el del Arduino MEGA 2560 para ser utilizados como referencias para diseño de placas montables (shields).

Estudiar CSS, HTML, PHP y Java a modo de familiarizarse con los lenguajes y la codificación utilizada para el diseño de páginas web y aplicaciones móviles, ya que serán necesarias para cuando sea necesario monitorear las mediciones por medio de dichas aplicaciones a desarrollar.

Diseñar la instrumentación necesaria, de la mano con el rediseño de la circuitería del analizador EER, haciendo uso de dichas herramientas CAD para acoplar la pinza de corriente adicional con la elaboración de dicha circuitería.

Abreviaturas y acrónimos

AA: Aire Acondicionado

EER: Relación de Eficiencia Energética

SEER: Índice de eficiencia energética estacional (Seasonal Energy Efficiency Ratio)

SCOP: Coeficiente de rendimiento estacional (Seasonal Coefficient of Performance)

COP: Coefficient of Performance (Coeficiente de desempeño)

BTU: British Thermal Unit (Unidad térmica Británica)

AC: Alternating Current (Corriente Alterna)

DC: Direct Current (Corriente Directa)

kVA : kiloVolt-Ampere

kW: kilowatt

kWh: kilowatt-hora

W: Watt

RMS: Root Mean Square

Irms: Corriente RMS

Vrms: Voltaje RMS

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

C: Celsius

K: Kelvin

Cpa: Calor específico del aire

TR: Tonelada de refrigeración

Qsen: Calor sensible

Qlat: Calor Latente

ρ_a : 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
pA: Presión Atmosférica
Ps: Presión de saturación
Va: Velocidad de aire a la salida del evaporador
Aa: Área en metros del evaporador
m: Metros
ma: Flujo de aire a la salida del evaporador
IC: Integrated Circuit
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
RTC: Real Time Clock

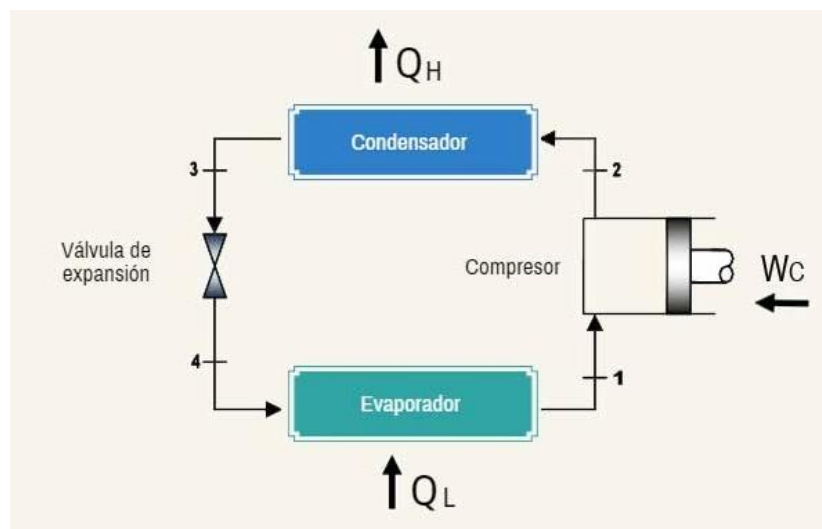
1 Referencia teórica

1.1 Sistemas de refrigeración aire acondicionado: compresión y absorción

La refrigeración es el proceso que se emplea en los aparatos de aire acondicionado: consiste en producir frío, o, mejor dicho, en extraer calor ya que para producir frío lo que se hace es transportar calor de un lugar a otro. Así, el lugar al que se sustrae calor se enfría. Al igual que se puede aprovechar diferencias de temperatura para producir calor, para producir diferencias de calor, se requiere energía. Generalmente la refrigeración por aire acondicionado se produce mediante dos sistemas de refrigeración: por compresión o refrigeración por absorción.

1.1.1 Sistema de refrigeración por compresión

El sistema convencional de refrigeración y el más utilizado en el aire acondicionado, es el sistema de refrigeración por compresión. Mediante energía mecánica se comprime un 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 mantener este ciclo se emplea energía mecánica, generalmente mediante energía eléctrica. Dependiendo de los costos de electricidad, este proceso de refrigeración es muy costoso. Por otro lado, tomando en cuenta la eficiencia de las plantas termoeléctricas, solamente una tercera parte de la energía primaria es utilizada en este proceso. Además, los refrigerantes empleados hoy en día pertenecen al grupo de los fluoro carbonos, que dañan la capa de ozono y contribuyen al efecto invernadero.



Un ciclo simple frigorífico comprende cuatro procesos fundamentales:

- **La regulación**

Ocurre entre el condensador y el evaporador, en efecto, el refrigerante líquido entra en el condensador a alta presión y alta temperatura, y se dirige 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 en este lugar 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.

- **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 carga a consecuencia de la fricción en la línea de aspiración, estos detalles no se tienen en cuenta cuando uno explica el funcionamiento de ciclo normal.

- **La compresión**

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

- **La condensación**

El vapor atraviesa la línea de expulsión hacia el condensador donde libera el calor hacia el aire exterior. Una vez que el vapor ha prescindido de 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 un nuevo ciclo.

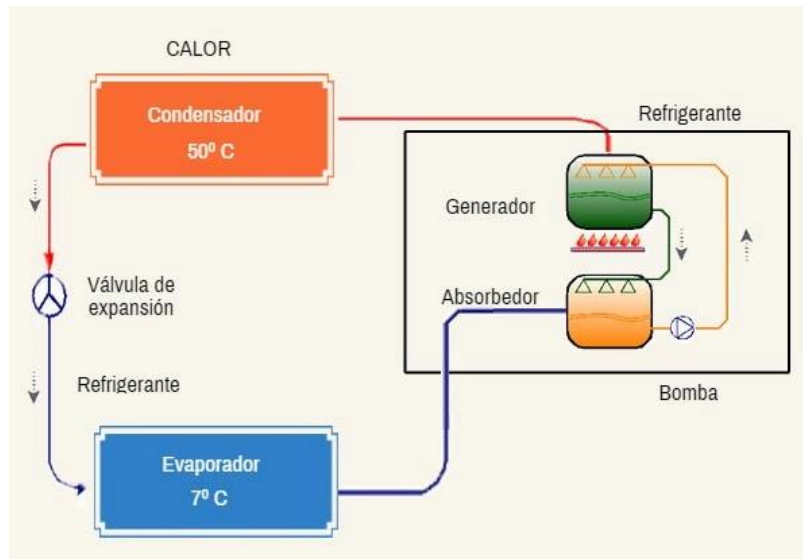
1.1.2 Sistema de refrigeración por absorción

Un método alternativo de refrigeración es por absorción. Sin embargo, este método por absorción solo se suele utilizar cuando hay una fuente de calor residual o barata, por lo que la producción de frío es mucho más económica y ecológica, aunque su rendimiento es bastante menor. En estos 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 transferido a un nivel de presión superior mediante una simple bomba. La energía necesaria 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, o sea mediante calor. A partir de este punto, el proceso de refrigeración es igual al de un sistema de refrigeración por compresión. Por esto al sistema de absorción y desorción se le denomina 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 manera continua.



En los sistemas de refrigeración por absorción se diferencia entre dos circuitos, el circuito del refrigerante entre compresor térmico, condensador y evaporado, 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 fluoro carbono. La mezcla de refrigerante y solvente en aplicaciones para temperaturas mayores a 0°C es agua y bromuro de litio (LiBr). En las aplicaciones para temperaturas hasta -60°C es amoníaco (NH₃) y agua. Hasta hoy no se han encontrado otras mezclas apropiadas para estas aplicaciones, aunque se están desarrollando sistemas de absorción, en los que el refrigerante es absorbido en matrices sólidas de zeolitos.

- **Ventajas e inconveniente de la refrigeración por absorción**

El rendimiento es menor a comparación del método por compresión (0.8 frente a 5.5), 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 energía eléctrica, y cuando ésta llega a la forma de **corriente** lo hace con un rendimiento inferior al 25% sobre la energía primaria utilizada para generarla, lo que reduce mucho con 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 que la cantidad de calor sea mayor), con lo que sus aplicaciones pueden reducirse.

Los aparatos son más voluminosos y requiere que sus unidades se mantengan de forma estática (lo que impide su utilización en automóviles, lo que sería muy conveniente como ahorro de energía puesto que el motor tiene grandes excedentes de energía en forma de calor, disipado en el radiador)

- **Ventajas y desventajas de las sustancias pares en sistemas de absorción**

Agua / Bromuro de litio (LiBr)

Ventajas	Inconvenientes
El refrigerante de agua tiene alta conductividad térmica	El sistema no puede enfriar a temperaturas menores del punto de congelación del agua
La solución de LiBr no es volátil	El LiBr es solvente en agua solo limitadamente
Las sustancias no son tóxicas ni inflamables	El vacío demanda una alta impermeabilidad del sistema

Amoniaco (NH₃) / Agua

Ventajas	Inconvenientes
El refrigerante de amoniaco tiene alta conductividad térmica	Presión muy alta del refrigerante (tuberías con paredes 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

Tabla 1: Ventajas y desventajas de las sustancias pares en sistemas de absorción

1.2 Componentes de un aire acondicionado

Conocer las partes que conforman una unidad de aire acondicionado y para qué sirve cada una, nos hará tener un mejor entendimiento del funcionamiento de un equipo de aire acondicionado.

En un aire acondicionado tipo Split podemos distinguir dos partes a primera vista:

Unidad exterior: Es la parte que se coloca fuera del recinto como su nombre indica y la encargada de generar el aire caliente o aire frío.

Unidad interior: es la parte que se coloca dentro de la estancia que se desea climatizar y con la que se interactúa a través de un control remoto para cambiar la velocidad del aire, la temperatura, etc.

Por otro lado, se tienen los componentes de instalación intermedia que componen toda la tubería de cobre de conexión de unidades, el cableado eléctrico y desagües. Asimismo, los mandos y controles del equipo.

Dentro de las partes más importantes que caben destacar para una unidad de aire acondicionado tipo Split 1x1, que es de los más utilizados, aunque el sistema es muy similar en los demás tipos de unidades.

- **El compresor**

El compresor se ubica dentro de la unidad exterior. El compresor de un aire acondicionado es el encargado de presurizar el gas refrigerante y convertirlo en gas de alta presión.

Para convertirlo en gas de alta presión, el compresor ejerce presión sobre el gas que entra de baja presión. Esta presión aumenta la presión del gas y la temperatura.

Una vez sale el gas en alta presión del compresor, va a parar al condensador para continuar el proceso.

Los compresores son la parte que más consumo de energía eléctrica requieren y la más importante para su funcionamiento. Actualmente hay nuevas unidades de aire acondicionado que hacen uso de tecnología Inverter, ya que ajustan su velocidad y por lo tanto su consumo, sin necesidad de recurrir a paros o arranques repentinos, los cuales suponían consumos de energía considerables.

- **El condensador**

Se ubica dentro de la unidad exterior. El condensador se encarga de eliminar el calor refrigerante cuando regresa del interior del recinto y pasa por el compresor.

Al pasar por el condensador el calor es expulsado y reduce la temperatura, durante esta fase de eyección de calor, el gas de alta presión lo convierte a líquido. Un ventilador en el condensador ayuda a esta tarea.

- **La válvula de expansión**

Se encuentra en la salida del condensador, dentro de la unidad exterior. El propósito de la válvula de expansión es restringir el flujo del refrigerante. De esta manera reduce la presión del fluido. A medida que la presión disminuye una parte del líquido refrigerante se convierte en gas, disminuyendo también su temperatura.

Así se produce refrigerante frío dentro de un aire acondicionado. Este refrigerante frío sigue su camino hasta el evaporador.

- **El evaporador**

El evaporador se encuentra en la unidad interior también llamada Split. El evaporador es el encargado de extraer el calor de la habitación para disminuir su temperatura.

Como la temperatura que sale de la válvula de expansión hacia el evaporador es más baja que la temperatura ambiente, cuando el aire de la estancia pasa por las bobinas del evaporador, esta baja su temperatura.

El refrigerante se convierte en vapor durante este proceso de absorción de calor. Una vez acabado el proceso, el refrigerante vuelve al compresor para comenzar un nuevo ciclo.

- **Los conductos**

Los conductos por lo general lo conforman dos tubos de cobre, uno más fino que el otro, ya que por uno fluye gas refrigerante y por el otro fluye gas de baja presión.

- **El gas refrigerante**

El gas refrigerante puede comprimirse o descomprimirse

- **El termostato**

Es el encargado de encender y apagar la unidad, además de mantener la temperatura preestablecida. Los termostatos son un componente electrónico que asegura la eficiencia del aparato ya que solo permiten accionar el aparato de aire acondicionado si es necesario según la temperatura ambiente que se tiene en la habitación.

Dependiendo del termostato, se pueden configurar parámetros tales como: modo por zonas, programación horaria, modo nocturno, modo ahorro, etc.

1.3 Tipos de aire acondicionado

1.3.1 Aire acondicionado portátil sin unidad exterior

Estos equipos no requieren instalación, al contrario de los splits o las bombas de calor que requieren la instalación de un extractor en el exterior. Basta con colocar el tubo extractor de aire caliente de forma manual en una ventana. Por sus características específicas, comprar un aire acondicionado portátil está indicado para segundas viviendas o pisos de alquiler, para cubrir olas de calor puntuales o bien como apoyo a una instalación de aire tradicional.

- **Aire acondicionado Split**

Un aparato compresor es instalado en el exterior conectado a equipos evaporadores en el interior. Un aire acondicionado Split es uno de los sistemas de climatización más extendidos a nivel doméstico. Cuando hablamos de Split nos referimos a la unidad interior de la instalación que requiere también de una unidad exterior que se instala en la fachada o balcón de la vivienda para extraer el aire caliente fuera. Una instalación de este tipo puede contar también con varias unidades Split. En este caso se hablaría de un sistema multisplit.

Lo más común es el aire acondicionado Split de mural o de pared. En el caso que se instale encastrado en el techo, se tratará de una unidad tipo cassette, sobre el que hablaremos a continuación.

- **Aire acondicionado multisplit**

Se trata de un sistema Split con una unidad exterior y varias unidades interiores, lo cual permite acondicionar varias estancias o un local de gran tamaño por medio de una sola unidad exterior. Estos sistemas procesan el aire y esta manera modifican la humedad y temperatura de la estancia.

- **Aire acondicionado cassette**

Se trata también de un sistema Split, con el condensador ubicado en la parte exterior, donde la unidad interior se instala empotrada al techo, comunicadas entre sí por un sistema de conductos instalada bajo cielo falso. Normalmente es utilizado para climatizar locales comerciales o espacios amplios como oficinas, ya que cuenta con mayor potencia que una unidad de tipo Split instalado en pared y sus cuatro salidas de aire abarca más espacio a refrigerar.

- **Aire acondicionado por conductos**

Es un sistema de aire acondicionado centralizado, generalmente, que se encastra en el cielo falso 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 cielo falso que terminan en unas rejillas estratégicamente colocadas y generalmente regulables por donde sale el flujo de aire.

- **Aire acondicionado reversible o Bomba de calor**

Estos sistemas pueden ser bombas de calor que generan aire acondicionado al funcionar de forma “reversible”. La bomba de calor 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). Conseguir aire acondicionado con bomba de calor reversible es la forma más eficiente para conseguir reducir la temperatura de un espacio, ya que la bomba de calor entrega siempre más energía de la que consume.

- **Fancoil o ventiloconvector**

Un fancoil o ventilo convector es el término que hace referencia a un equipo de climatización agua-aire constituido por un intercambiador de calor, un ventilador y un filtro. Para refrescar o calentar el agua, el fancoil requiere de una unidad exterior con un intercambiador refrigerante – agua.

- **Roof Top o equipos en cubierta**

Se trata de equipos compactos de gran potencia que toman el aire desde una azotea y lo distribuyen mediante conductos. Su uso está extendido en espacios comerciales en los que la cubierta está en contacto directo con la zona a climatizar, como grandes almacenes, supermercados, etc.

- **Enfriadoras de agua con recuperación de calor**

Estos sistemas son capaces de modificar los niveles de humedad o concentración de toxinas del aire que se encuentra en un ambiente o estancia. Las enfriadoras de agua pueden aprovechar el calor de una zona a otra, pero cuentan como principal ventaja que no les afectan los límites prácticos del refrigerante ya que funcionan con agua como refrigerante. En contra, necesitan un sistema de distribución de agua y climatizadores o fancoils y suelen ser más ruidosos y voluminosos.

- **Aire acondicionado Inverter**

El sistema Inverter no es un tipo de aire acondicionado, sino una cualidad tecnológica que regula el mecanismo de un sistema de aire acondicionado mediante el cambio de la frecuencia del ciclo eléctrico de su compresor. En lugar de arrancar y parar frecuentemente, el compresor gira de forma continua, lo que ayuda a mantener constante la temperatura de la sala. Se asegura un gasto energético directamente proporcional a la capacidad de refrigeración requerida, evitando así consumos innecesarios y prolongando la vida del compresor.

1.4 Coeficientes de rendimiento para sistemas de aire acondicionado: concepto de COP y EER.

Desde hace bastantes años, todos los equipos de aire acondicionado vienen etiquetados con estos dos indicadores: el EER y el COP. En caso de que el equipo en cuestión no posea la función de calefacción, entonces se verá la etiqueta para EER solamente, en caso la tenga, entonces se mostrará el COP. El significado de estos indicadores corresponde a:

- EER: Índice de eficiencia energética (Energy Efficiency Ratio)
- COP: Coeficiente de rendimiento (Coefficient of Performance)

Estos indicadores nos muestran la cantidad de potencia térmica (calor o frío en Btu/h) que nos entrega el equipo por cada kW de potencia eléctrica suministrada a la unidad. Las condiciones originales a las que un fabricante certifica el EER y el COP de su producto son con el equipo funcionando a plena carga, es decir, que la máquina estará entregando el 100% de potencia térmica de la cual sea capaz, cosa la cual no sucede en la mayoría de ocasiones en la vida real.

- Recientemente debido a la aparición de nuevas tecnologías como la Inverter, las cuales, como se mencionó anteriormente, controlan el funcionamiento de los aires acondicionados para que no funcionen a plena carga regulando su potencia según la carga lo requiera, por ello, se han dispuesto nuevos indicadores para conocer la eficiencia energética de los equipos en cargas parciales, que es como se utilizan realmente los equipos, dando lugar a los conceptos de SEER y SCOP que se definen como la eficiencia estacional de una unidad de refrigeración (SEER) o calefacción

(SCOP) calculada para la demanda anual de refrigeración, sujetas a las condiciones climáticas específicas dadas en la norma UNE-EN 14825:2014.

Que, a razón de los cambios introducidos por las nuevas tecnologías, y considerando los cambios según la carga, dichos parámetros dan información acerca de la cantidad de energía térmica acondicionada con respecto a la potencia eléctrica demandada.

1.5 Teoría sobre el cálculo de la EER

1.5.1 La relación de Eficiencia Energética (Energy Efficiency Ratio, EER)

El equipo de refrigeración y aire acondicionado consume potencia, no la produce. La eficiencia es una medida de la producción de potencia de un motor, por lo tanto, no tiene significado aplicar este término a equipos que consumen energía. El coeficiente de rendimiento (Coefficient of Performance, COP) es una medida útil definida de tal manera que mida y compare el funcionamiento de un equipo de aire acondicionado y de refrigeración.

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

El COP es una buena medida de la conservación de energía debido a que 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).

$$\text{EER} = \frac{\text{Capacidad útil de enfriamiento en BTU/h}}{\text{Consumo de potencia en W}} \quad (\text{Ec.2})$$

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 que los fabricantes de equipos de aires acondicionados identifiquen la EER de sus productos. En resumen, 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 dando como resultado 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 aire acondicionado.

1.5.2 Unidades de potencia empleadas en refrigeración: Btu y toneladas de refrigeración

BTU: La mayoría de los aires acondicionados tienen su capacidad nominal expresada en unidades térmicas británicas o BTU. 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 kJ. En el calentamiento y enfriamiento de términos, una tonelada es igual a 12,000 BTU. Por ejemplo, un típico aire acondicionado de ventana puede ser clasificado en 10,000 BTU.

Tonelada de refrigeración (TRF ó TR): la tonelada de refrigeración 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 BTU por hora, lo que en el Sistema Internacional de Unidades (SI) equivale a 3517 W. Como se representa en la Figura 1.

Si partimos de que para convertir una libra de hielo en una libra de agua líquida se ocupan 144 BTU, y de que una tonelada corta equivale a 2000 libras, al multiplicar 144×2000 , tenemos que durante el proceso se absorberán 288 000 BTU 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 BTU por las 24 horas, el resultado es: $288000/24 = 12\ 000\ \text{BTU/h}$.

$$Q = \frac{dQ}{dt} = 2000\ \text{lb} \times 144 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}} \times \frac{1}{24\ \text{h}} = 12000 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

(Ec.3)

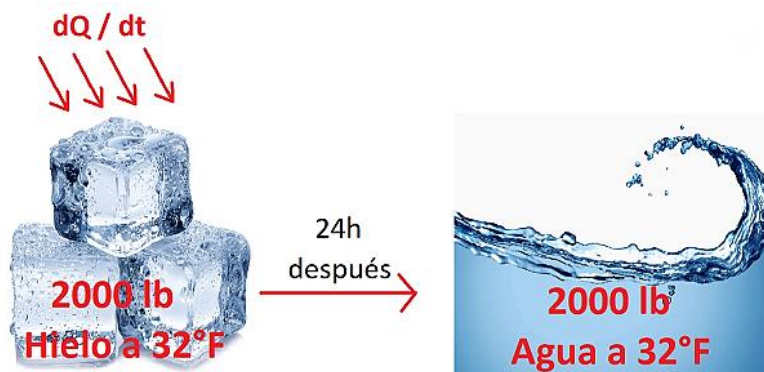


Figura 1: Representación de las toneladas de refrigeración.

1.5.3 Cálculo del EER de una unidad de aire acondicionado

Para el cálculo del EER de una unidad de aire acondicionado 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 potencia eléctrica, la temperatura de entrada y de salida del evaporador, la humedad relativa de entrada y salida, como se muestra en la Figura 2. Para los cálculos se considera la definición de las variables y constantes presentadas en la Tabla 2:



Figura 2: Esquema de las variables medidas para el cálculo del EER (Tecnológico de Monterrey).

Variable	Descripción / Valor	Unidades
V_a	Velocidad del aire a la salida del evaporador	m/s
A_a	Área del ducto de salida del evaporador	m^2
ρ_a	Densidad del aire / 1.196	kg/m^3
Q_{sen} y Q_{lat}	Calor sensible y calor latente respectivamente	kJ
w_e y w_s	Relación de humedad específica de entrada y de salida	$\frac{kg_{H_2O}}{kg_{Aire_{seco}}}$

Cpa	Calor específico del aire / 1.007	$\text{kJ}/\text{kg K}$
ΔH_{vH_2O}	Calor latente de vaporización del agua / 2257	$\text{kJ}/\text{kg}_{H_2O}$
PA	Presión atmosférica / 101.325	kPa
Raire	/ 286.9	$\text{J}/\text{kg K}$
Rvapor	/ 461.5	$\text{J}/\text{kg K}$
Te y Ts	Temperatura de entrada y salida respectivamente	$^{\circ}\text{C}$
He y Hs	Humedad relativa de entrada y salida respectivamente	%
Irms	Corriente eficaz	A
Vrms	Voltaje eficaz	V
Pe	Potencia de entrada	W
ma	Flujo de aire en la salida del evaporador	kg/s
c1	/ -5800.22006	--
c2	/ -5.516256	--
c3	/ -0.048640239	--
c4	/ -0.000041764768	--
c5	/ -0.000000014452093	--
c6	/ 6.5459673	--

Tabla 2: Variables y constantes utilizadas en el cálculo del EER

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

$$m_a = V_a A \rho_a ; [\text{kg} / \text{s}]$$

(Ec.4)

Se calcula el delta de temperaturas:

$$\Delta T = T_e - T_s$$

(Ec.5)

Se calcula el calor sensible en kW:

$$Q_{sen} = m_a C_{pa} \Delta T ; [kW]$$

(Ec.6)

Usualmente para encontrar el valor de w_e y w_s se hace por medio de la carta psicrométrica. Pero en este caso se hace uso de unos polinomios cuyas soluciones son proporcionales a las lecturas de la carta psicrométrica. Presión de saturación de entrada [kPa]:

$$A = \frac{C_1}{T_e + 273.15} + C_2 + C_3(T_e + 273.15) + C_4(T_e + 273.15)^2 + C_5(T_e + 273.15)^3 + C_6 \ln(T_e + 273.15) \quad (\text{Ec.7})$$

$$PS_{entrada} = e^A \quad (\text{Ec.8})$$

Presión de saturación de salida [kPa]:

$$B = \frac{C_1}{T_s + 273.15} + C_2 + C_3(T_s + 273.15) + C_4(T_s + 273.15)^2 + C_5(T_s + 273.15)^3 + C_6 \ln(T_s + 273.15) \quad (\text{Ec.9})$$

$$PS_{salida} = e^B \quad (\text{Ec.10})$$

Relación de humedad entrada:

$$W_e = \frac{R_{aire}}{R_{vapor}} * \frac{H_e}{100} * \frac{PS_e}{pA + \left(\frac{H_e}{100}\right) * PS_e} * 1000 \quad (\text{Ec.11})$$

Relación de humedad salida:

$$W_s = \frac{R_{aire}}{R_{vapor}} * \frac{H_s}{100} * \frac{PS_s}{pA + \left(\frac{H_s}{100}\right) * PS_s} * 1000 \quad (\text{Ec.12})$$

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

$$\Delta W = W_e - W_s; \left[\frac{kgH_2O}{kgA_{seco}} \right] \quad (\text{Ec.13})$$

Luego se calcula el calor latente en kW:

$$Q_{Lat} = m_a * \Delta W * \Delta W_{vH_2O} [kW] \quad (\text{Ec.14})$$

Una vez calculado el calor sensible y el calor latente se puede encontrar las toneladas de refrigeración del aparato de aire acondicionado:

$$TR = (Q_{sen} + Q_{Lat}) * \left(\frac{3412Btu/h}{1kW} * \frac{1TR}{12000Btu/h} \right) \quad (\text{Ec.15})$$

Entonces el índice de eficiencia energética o EER queda de la siguiente manera:

$$EER = \frac{(Q_{sen} + Q_{Lat})}{P_e}; \left[\frac{kW}{kW} \right] \quad (\text{Ec.16})$$

Para expresar el EER en Btu/W.h se hace lo siguiente:

$$EER = \frac{(Q_{sen} + Q_{Lat}) * \left(\frac{3412 \text{ Btu/h}}{1 \text{ kW}} \right)}{P_e}; \left[\frac{\text{Btu}}{\text{kW}} \right] \quad (\text{Ec.17})$$

1.6 Lineamientos para la medición de EER

1.6.1 Preparación de la unidad de AA.

Antes de iniciar con las mediciones, es necesario preparar el ambiente y la unidad según lo especifica la 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 del aire. El equipo bajo ensayo se debe operar continuamente durante 1h después de que se haya establecido las temperaturas del aire especificadas y el nivel de condensado de equilibrio”

De no ser realizado este procedimiento, la unidad estará desactivando o reduciendo la velocidad de los ventiladores; lo que podría ocasionar que los valores sean poco confiables, afectando el valor calculado de eficiencia.



Figura 3: Posición correcta de difusores para la medición

Las paletas que regulan el flujo de aire (1) Figura 3 en los equipos deben estar alineadas en paralelo con el ducto interno a la salida del evaporador (2) y con las líneas de flujo de aire (3) para evitar crear turbulencia en el mismo y obtener mayor estabilidad en la salida garantizando 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 la 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 calculará un promedio el cual se utilizará para el cálculo de la EER.

1.6.2 Medición del 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 4 a)) y en otros casos a un costado de este (figura 4b)). La medición de largo y ancho se deben obtener en metros y realizarse como lo muestra la figura 5.

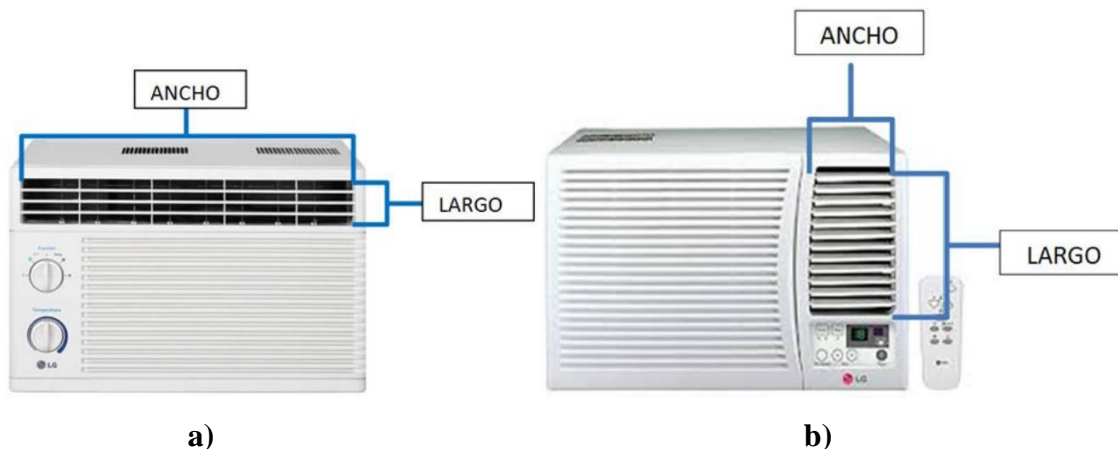


Figura 4: Área de conducto de salida de A/C tipo ventana

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 5. Para medir el ancho del ducto en el equipo se debe de tomar de forma vertical (figura 6 b)), no de los extremos de la carcasa/coraza de protección del equipo debido a que en la mayoría de los equipos la parte superior del ducto interno sobrepasa a la inferior para la ubicación de las paletas de flujo Figura 6 a).

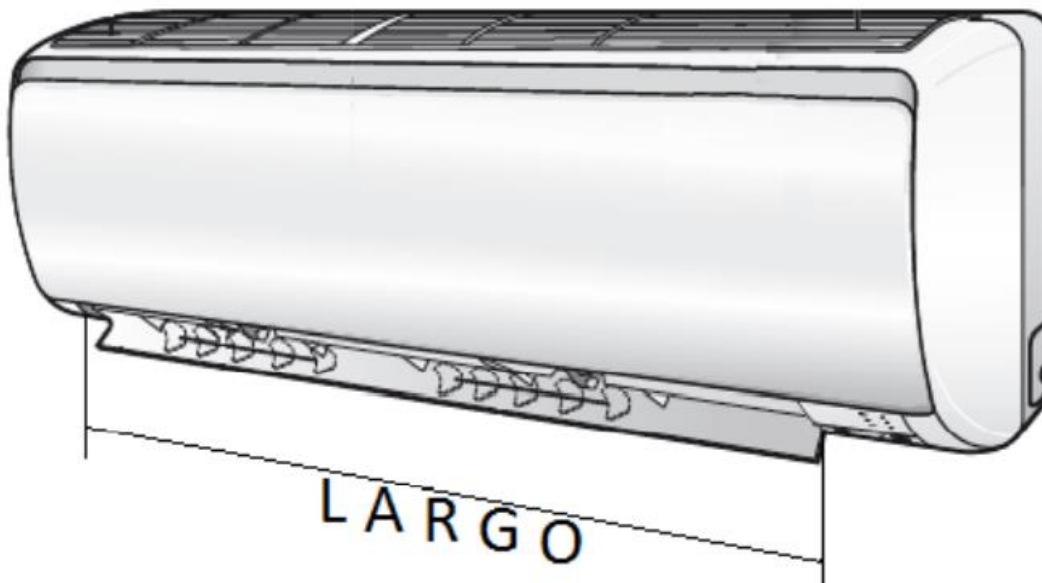


Figura 5: Área de salida de A/C tipo Split.

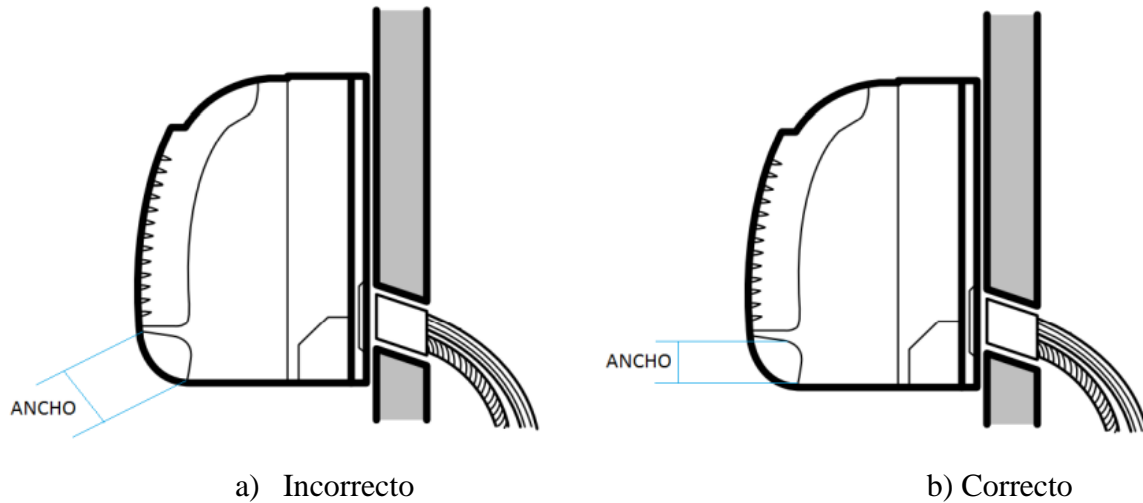


Figura 6: Medición correcta del área de salida de A/C tipo Split.

1.6.3 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 del flujo de aire posea una humedad y temperatura consistente.

La distancia a la que se debe colocar el medidor de la salida de aire debe ser igual a la mitad de la longitud de las paletas de flujo de aire (Figura 7), siendo esta la mejor ubicación donde el flujo no posee turbulencias notorias y la temperatura y humedad del aire del ambiente no alteran la medición.

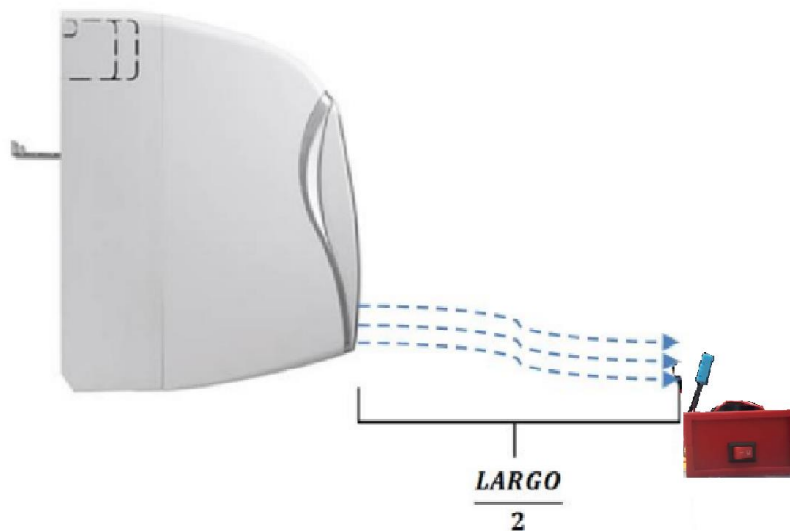


Figura 7: Distancia de medición de temperatura y humedad relativa a la salida del A/C

1.6.4 Temperatura y humedad de entrada

La temperatura a la que se debe colocar el medidor de la entrada de aire no debe ser mayor a 10 centímetros (figura 8). En la medición se está tomando la temperatura y humedad que los focos de calor inyectan a la habitación luego de ser enfriados.

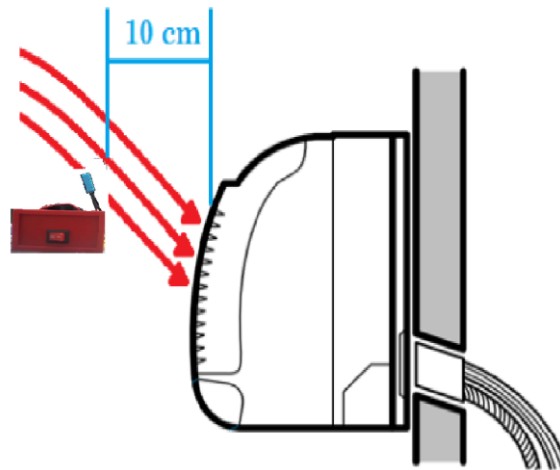


Figura 8: Distancia de medición de temperatura y humedad relativa a la entrada del A/C

1.6.5 Velocidad del viento

Para la medición directa de la velocidad del flujo de aire a través del ducto de salida del evaporador, se deben utilizar anemómetros portátiles, preferentemente de tipo rotativo, teniendo presentes para la realización de las medidas, las indicaciones establecidas por la norma UNE 100010-2:1989. Se deberá tener la precaución de evitar tomar mediciones de velocidad del aire en puntos de evidente turbulencia. Con el mismo objetivo de evitar turbulencias y perturbaciones en el flujo del aire, la persona que efectúe las mediciones deberá situarse en lugares donde 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.

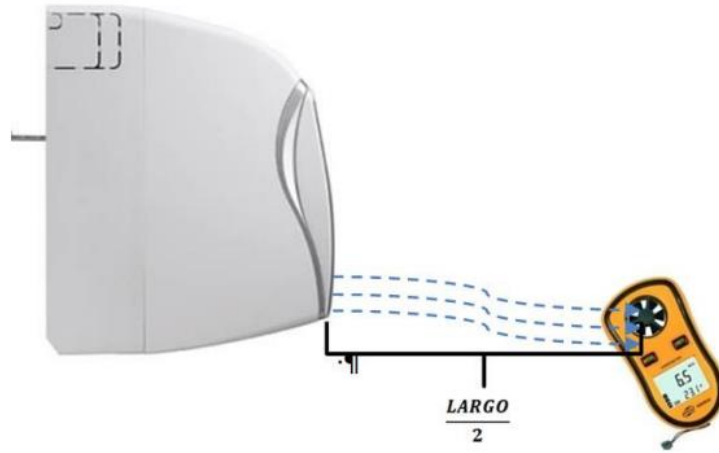


Figura 9: Medición de velocidad del flujo de aire acondicionado.

1.6.6 Potencia eléctrica

En los equipos autónomos, la medición de tensiones de suministro y consumos de corriente eléctrica, es recomendable realizarla sobre los conductores principales de la 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 demandada 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.

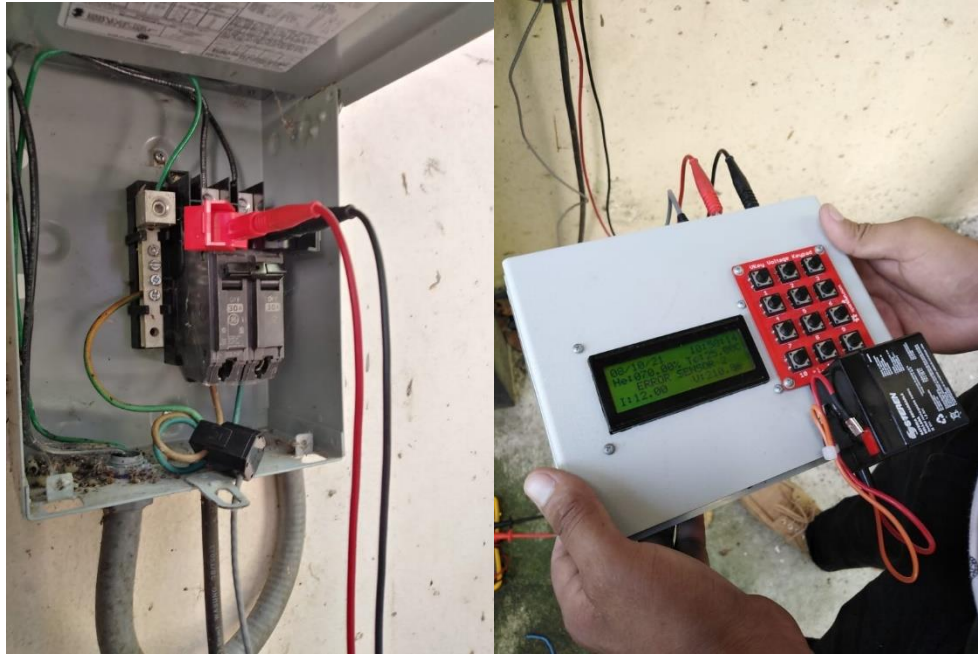


Figura 10: Medición de potencia eléctrica.

2 Solución

2.1 Propuesta de diseño para el sistema de analizador EER

De acuerdo al procedimiento descrito en la sección 1.5.3 donde se describe las variables físicas necesitadas para la medición de EER y la sección 1.6 donde se describen los procedimientos para poder medir estas mismas; las variables físicas a medir son la velocidad de flujo de aire, área del conducto de salida del equipo de aire acondicionado, temperaturas y humedades relativas a los conductos de entrada y salida de estos mismos y corriente y voltaje para la medición de potencia eléctrica. La figura 11 muestra el esquema de la secuencia que se tiene al momento de poner a poner el equipo analizador.

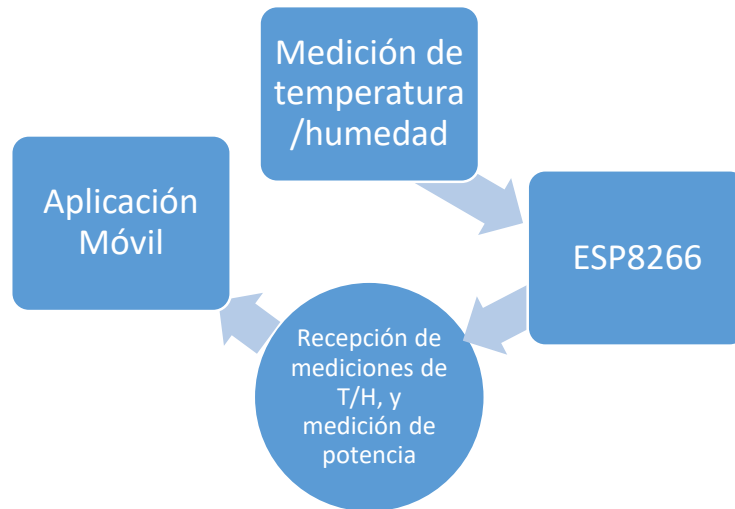


Figura 11: Diagrama de procesos del equipo analizador

2.2 Descripción de los componentes

2.2.1 Arduino MEGA 2560

El Arduino MEGA 2560 (Figura 12) es un microcontrolador basado en el procesador ATmega2560. Cuenta con 54 pines digitales de E/S (de los cuales, 15 pueden ser utilizados como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UARTs (puertos seriales dedicados), un cristal oscilador de 16MHz, conexión USB, puerto ICSP, y un botón de reinicio. Se propone el uso de este microcontrolador para aplicaciones en las cuales su codificación suponga una alta demanda de capacidad de memoria, así como su sencillez a la hora de la ejecución de estas mismas.

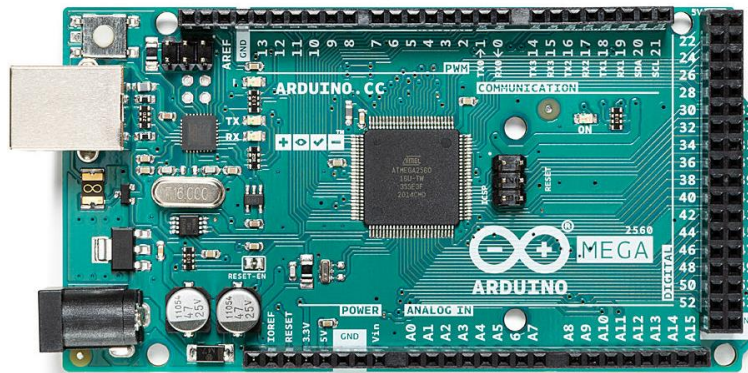


Figura 12: Arduino MEGA 2560.

- **Características técnicas**

Microcontrolador	ATmega2560
Tensión de operación	5V
Tensión de entrada (recomendada)	7-12V
Tensión de entrada (crítica)	6-20V
Pines digitales de E/S	54 (15 pueden ser salidas PWM)
Pines analógicos de Entrada	16
Corriente DC por pin E/S	20 mA
Corriente DC por pin de 3.3V	50mA
Memoria Flash	256 kB (8kB utilizados por el bootloader)
SRAM	8 kB
EEPROM	4 kB
Velocidad de reloj	16 MHz

Tabla 3: Características técnicas de Arduino MEGA 2560

2.2.2 Módulo WiFi ESP8266 (ESP-01)

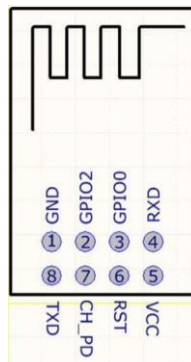
El ESP8266 es un chip que ofrece una solución completa y autónoma de redes WiFi, lo que le permite alojar la aplicación o servir como puente entre Internet y un microcontrolador que se comunican con él a través de una interfaz UART mediante comandos de texto AT. El ESP8266 tiene potentes capacidades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

- **Características técnicas**

- 802.11 b/g/n
- MCU integrado de baja potencia (Unidad Microcontroladora)

- Convertidor A/D de 10 bits
- Protocolo stack TCP/IP
- Switch TR, switch balun, LNA, amplificador de potencia y red de adaptación,
- PLL, reguladores y unidades de manejo de potencia
- Soporta diversidad de antenas
- WiFi 2.4GHz, soporta WPA/WPA2
- Soporta modos de operación STA/AP/STA+AP
- Soporta la función Smart Lin para dispositivos Android y iOS
- SDIO 2.0, (H) SPI, UART, I2C, I2S, IRDA, PWM, GPIO
- STBC, 1x1 MIMO, 2x1 MIMO
- Potencia de suspensión profunda menor a 10uA, potencia de fuga menor a 5uA
- Encendido y transferencia de paquetes en menos de 2ms
- Consumo de potencia en espera menor que 1mW (DTIM3)
- Potencia de salida de +20dBm en modo 802.11b
- Rango de operación de temperaturas de -40°C ~ 125°C

- **Descripción de pines**



No.	Nombre de Pin	Función
1	GND	GND
2	GPIO2	GPIO, Pull-up interno
3	GPIO0	GPIO, Pull-up interno
4	RXD	UART0, datos recibidos desde el pin RXD

5	VCC	Alimentación de 3.3V (VDD)
6	RST	Pin de reinicio
7	CH_PD	Pin de habilitación del chip. Activo en 1
8	TXD	UART0, datos enviados desde el pin RXD

Tabla 4: Descripción de pines del ESP8266

2.2.3 Basic 5V 20x4 character LCD – Negro sobre verde (GDM2004D)

Este es un display LCD básico de 20 columnas por 4 filas. Utiliza el chip PIC18F23K22 como interfaz de paralelo a I2C. Se necesitan por lo general 11 pines para interactuar con la pantalla LCD, incluyendo la retroiluminación (backlighting).

2.2.4 CATALEX Micro SD Card Adapter v1.0

Consiste en un módulo compatible con Arduino el cual utiliza el bus SPI como interfaz de comunicación para poder adaptar una tarjeta micro SD. La mayoría de librerías de SPI establecen un determinado pin de Arduino para cumplir la función de CS (dependiendo del modelo); sin embargo, el bus SPI no solamente se encuentra limitado al uso de un determinado conjunto de pines digitales del Arduino en cuestión, sino que es posible hacer uso del puerto ICSP para conectar los pines necesarios para la comunicación SPI con el módulo adaptador de micro SD a utilizar (figura 13).

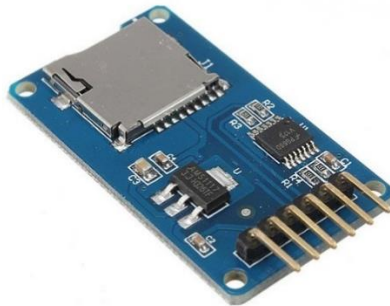


Figura 13: Catalex micro sd card adapter v1.0

La figura 14 muestra el arreglo de pines para el puerto ICSP y los pines del adaptador SD a utilizar. Tomando en cuenta dichos diagramas, se proceden a hacer las conexiones

pertinentes, dejando el pin de CS para uso libre por cualquier pin digital del Arduino que se utilizará.

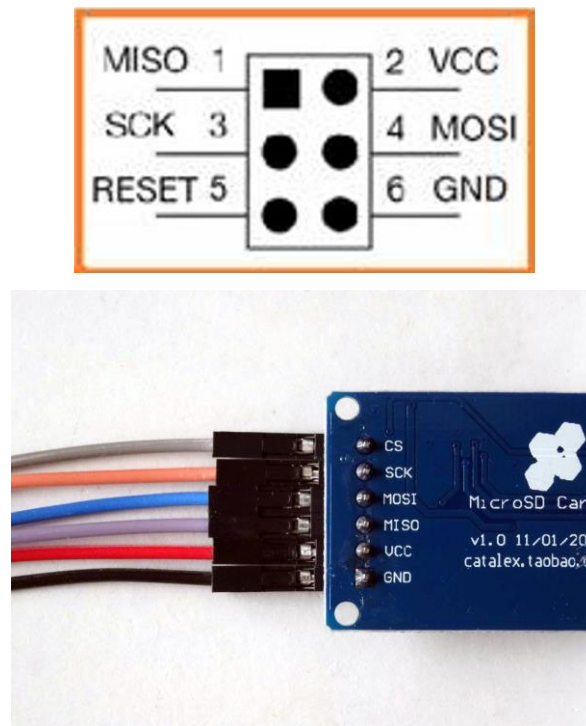


Figura 14: Arreglo de conexión de pines para el puerto ICSP.

2.2.5 Reloj de tiempo Real (Real Time Clock en inglés o RTC)

La mayoría de los microcontroladores, incluido el ATmega de los Arduinos, tienen una función integrada 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 uno 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 la fecha ni hora, lo único que sabes que han pasado una cierta cantidad de milisegundos desde que fue energizado (14,000 milisegundos, por ejemplo). 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

horas 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.

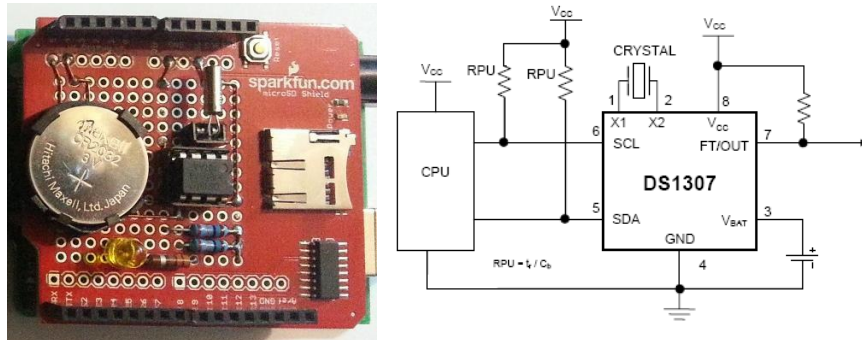


Figura 15: Reloj de tiempo real y circuito típico de operación.

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. La programación del DS1307 se realiza mediante el bus I2C. Los pines de SDA y SCL se conectan a las entradas A4 y A5 respectivamente del Arduino UNO en este caso. En la Figura 6 se muestra el dispositivo físico del RTC DS1307, y en la Figura 15 se muestra el diagrama de conexión para el mismo.

2.2.6 Sensor de Temperatura y Humedad relativa (DHT11)

El DHT11 es un sensor digital de temperatura y humedad relativa de bajo costo y fácil uso. Utiliza un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circundante, y muestra los datos mediante señal digital por medio del pin de datos (no posee salida analógica).



Figura 16: Forma física del sensor DHT11

Modelo	DHT11
Alimentación	3-5.5 V
Tipo de señal de salida	Señal digital a través de bus único
Elemento sensor	Resistencia polimérica
Rango de medición	Humedad 20-90% HR; Temperatura 0-50°C
Precisión	Humedad $\pm 4\%$ HR ($\pm 5\%$ HR máximo); Temperatura $\pm 2^\circ\text{C}$
Resolución o sensibilidad	Humedad 1% HR; Temperatura 0.1°C
Repetitividad	Humedad $\pm 1\%$ HR; Temperatura $\pm 1^\circ\text{C}$
Histéresis de humedad	$\pm 1\%$ HR
Estabilidad a largo plazo	$\pm 0.5\%$ HR/año
Periodo de muestreo	2s en promedio
Intercambiabilidad	Completamente intercambiable
Dimensiones	12 x 15.5 x 5.5 mm

Tabla 5: Características técnicas del sensor DHT11.

2.2.7 Sensor de corriente No Invasivo SCT-013 30A/1V (Transformador de Corriente)

Los transformadores de corrientes son dispositivos usados para escalar grandes corrientes en el primario a una menor en el secundario, fácil de medir y manipular para instrumentos y medidores. Similar a los transformadores de voltaje la relación de los devanados determina la relación entre las corrientes de entrada y las de salida. Estos transformadores son herramientas indispensables que facilitan la medición de la corriente AC. Un CT (transformador de corriente por sus siglas en inglés) utiliza la fuerza del campo electromagnético alrededor del cable conductor para formar una corriente inducida en los devanados secundarios.

Este método indirecto de conexión permite una fácil instalación y proporciona un alto nivel de aislamiento entre los circuitos de medición en el secundario y el circuito primario. Para el medidor de corriente se ha seleccionado una pinza de corriente “no invasiva” de núcleo dividido SCT013 30A/1V por la compañía YHDC (figura 17). Este sensor en particular es capaz de medir una carga hasta 30A. Este sensor sí posee una resistencia de carga (burden resistor), por lo que no es del todo necesario colocar una en paralelo con la bobina de salida, ya que está configurada en forma de voltaje.



Figura 17: Sensor de corriente

- **Características técnicas**

Corriente nominal de entrada	0-30A
Salida nominal	0-1V
Precisión	±1%

Linealidad	$\leq 0.2\%$
Relación de vueltas	1:1800
Voltaje de trabajo	660V
Frecuencia de trabajo	50-1kHz
Temperatura de operación	-25..+70°C
Temperatura de almacenamiento	-40..+85°C
Fuerza dieléctrica @ 50Hz 1min	3kV

Tabla 6: Características técnicas del sensor TC.

2.2.8 Transformador de voltaje

El transformador es un dispositivo que convierte un cierto nivel de tensión en AC, en otro nivel de tensión, basándose en el fenómeno de la inducción electromagnética. Está constituido por dos bobinas de material conductor, devanadas sobre un núcleo cerrado de material ferromagnético, pero aisladas eléctricamente entre sí. La única conexión entre las bobinas la constituye el flujo magnético en común que se establece por medio del núcleo. Para el medidor de voltaje (figura 18) se utilizó un transformador con 240V en el primario, y una tensión de 9V en el secundario.



Figura 18: Transformador de voltaje monofásico LP-423. 120/9V, 120/18V, 240/9V, 240/18V.

2.2.9 Anemómetro

Es un Instrumento utilizado para medir la velocidad del viento que permite medir inmediatamente la velocidad pico de una ráfaga de viento. Posee hélices unidas a un eje central cuyo giro, proporcional a la velocidad del viento. Dentro de la amplia gama de anemómetros existentes y funciones distintas el mini anemómetro digital portátil Mastech MS6252B (Figura 19) es una buena elección para cumplir el tipo de demanda que el objetivo presenta. Este anemómetro digital portátil será utilizado para la medición de la velocidad del viento que expulsa el conducto de salida de los evaporadores de los equipos de Aire acondicionado.



Figura 19: Anemómetro Mastech MS6252B

3 Equipo Analizador

En el pasado no se contaba con un equipo de medición capaz de realizar mediciones en tiempo real de eficiencia energética en aires acondicionados, sin embargo, hasta la actualidad se ha diseñado un prototipo para medir la eficiencia energética al instante de aires acondicionados tipo ventana y Split con alimentación monofásica a dos hilos y monofásica a tres hilos de manera inalámbrica, lo que ha llegado a que la utilización del equipo de medición solo sea reducido a un anemómetro y una cinta métrica.

3.1 Analizador de EER

Este equipo ayuda a obtener el indicador de eficiencia energética de los AA de una forma más rápida que la de utilizar un analizador de potencia y un higrómetro para luego utilizar los datos en algún software u hoja de cálculo como se hace comúnmente.

El equipo analizador de EER (Figura 20) es un instrumento electrónico con la capacidad de medir temperatura y humedad a la entrada y salida de los AA monofásicos dos hilos y monofásico tres hilos de forma remota en tiempo real, así mismo también tiene la capacidad de medir tensión y corriente eléctrica a través de tenazas amperimétricas y pinzas. Por tanto, con el registro de todas estas entradas, incluyendo el ingreso de valores de velocidad y área, el analizador muestra valores de EER del AA al instante.

El equipo puede ser configurado de tal forma que las mediciones sean almacenadas en una tarjeta SD y en formato de archivos de texto delimitado (.csv).

Para el desarrollo del equipo analizador se ha partido de un prototipo que realizaba el proceso de medición de la EER de forma local, con todos sus componentes de medición conectados por tecnología cableada. A lo largo de la elaboración del mismo se ha pasado por una serie de actualizaciones y rediseños para que el proceso de medición de EER pase a ser de forma remota. Por cada intervalo de medición, que a su vez cumplidas las cantidades de mediciones previamente configuradas este automáticamente dejará de registrarlas, aunque el analizador siga operando. A través de la aplicación móvil se podrán configurar nuevas mediciones, en la cual los resultados de estas se muestren tanto en la pantalla del analizador como en la aplicación móvil, siempre y cuando el analizador esté conectado al aire acondicionado a medir.



Figura 20: Analizador de EER.

3.2 MONITOREO REMOTO DE EER

Para la implementación del monitoreo remoto al equipo analizador de EER se elaboraron una serie de actualizaciones que consistieron en: Reemplazar el Arduino UNO por el Arduino MEGA con la finalidad de tener una mayor capacidad de almacenamiento para la compilación del programa principal, entradas de comunicación para declaración de instancias, desplazar el uso de librerías que crean un puerto serial artificial, tomando en cuenta lo anterior, se agregó una tenaza amperimétrica adicional para visualizar el nivel de corriente que circula por las fases a la que esté conectada el aire acondicionado y verificar si existe o no desbalance entre dichas fases, asimismo el equipo se ha rediseñado haciendo que cada sensor de temperatura y humedad tenga un circuito independiente (stand alone) con módulos wifi ESP8266 que son configurados como clientes y que a la vez se conectan vía wifi a otro módulo wifi configurado en el equipo analizador como punto de acceso, y finalmente como la mejora más significativa, la creación de una aplicación móvil capaz de monitorear remotamente el equipo, permitiendo que el método de supervisión de las mediciones del equipo pueda realizarse de una forma práctica y eficiente.

Los elementos que componen el equipo analizador están compuestos por 3 subsistemas los cuales corresponden a un subsistema principal, de medición remota y aplicación Móvil, estos sistemas se muestran en la figura 21 y se describen a continuación.

3.2.1 Subsistema principal

En esta unidad se realizarán las mediciones directas de potencia eléctrica (tensión y corriente). Esta unidad cuenta con un módulo WiFi que funciona como Access Point, para recibir las lecturas de temperatura y humedad relativa de forma remota; dicho módulo se encarga de enviar la información de todas las mediciones para el cálculo del EER, así como su resultado a la aplicación móvil. Además, en esta unidad se almacena la medición de EER en el intervalo de tiempo definido por el usuario (ya sea en minutos, segundos, etc.) en un archivo .csv para su posterior revisión en una computadora.

3.2.2 Subsistema de medición remota:

Consiste en dos módulos de medición de temperatura y humedad que funcionan de forma stand -alone, funcionando como clientes que envían solicitudes a la unidad principal, que contienen las mediciones de temperatura y humedad relativa medida a la entrada y salida del equipo de AA. Cada módulo está compuesto por un módulo WiFi (ESP8266) conectado a un sensor de temperatura y humedad (DHT11).

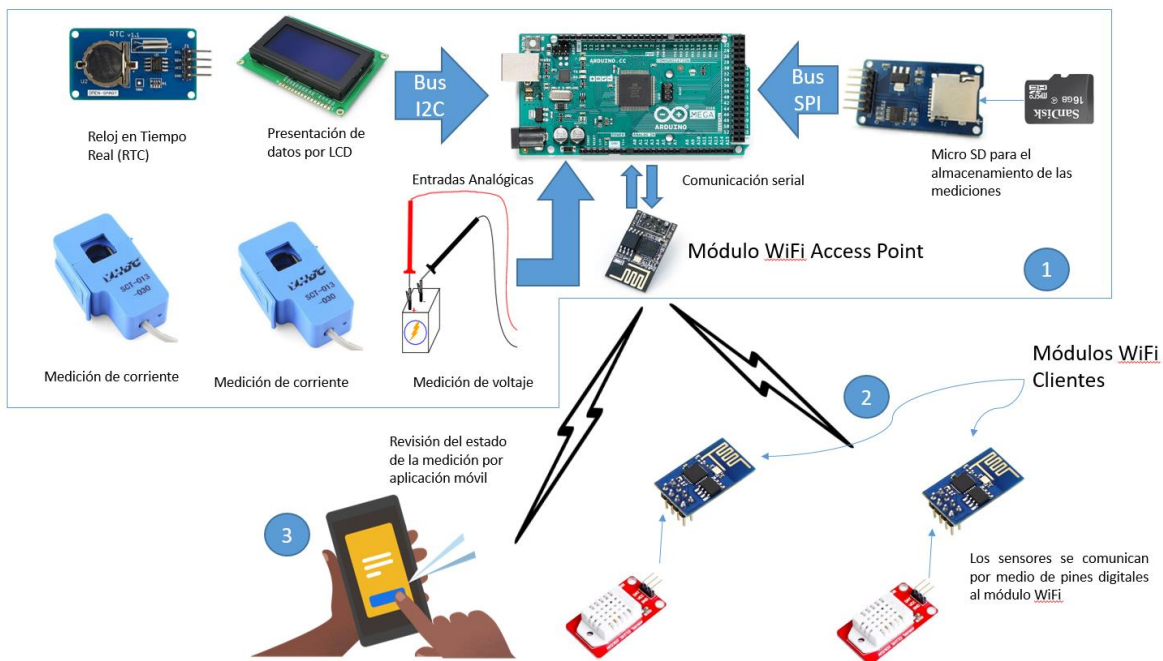


Figura 21: Diagrama operativo de los elementos que componen el equipo analizador de EER.

3.2.3 Aplicación Móvil

Tal y como su nombre lo indica, consiste en una aplicación compatible con el teléfono celular la cual permite observar el estado de las mediciones realizadas por el Analizador EER de forma remota, estableciendo comunicación con la unidad principal por conexión WiFi.

3.3 Diseño actual del Analizador EER

Siguiendo la línea de mejoras implementadas al Analizador EER, se encuentran los siguientes cambios.

3.3.1 Sensor de corriente adicional

La pinza adicional para medición de corriente es añadida con la finalidad de poder muestrear en tiempo real si el equipo de AA está siendo suministrado con corrientes iguales en sus dos fases. Las mediciones realizadas con dicha pinza adicional no son para uso en el cálculo de la EER, sino para tener una referencia de que la potencia suministrada al equipo de AA sea la correcta.

Tomando en cuenta el arreglo en circuitería que se agregó en el diseño anterior para la medición de corriente, se realiza una copia de este mismo para la medición de la segunda fase que alimente al equipo de AA.

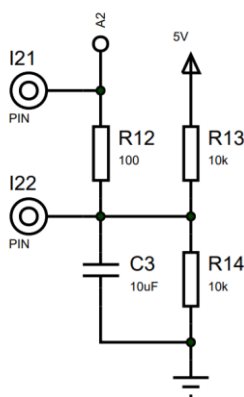


Figura 22 Arreglo para la entrada analógica A2 del Arduino

Para conectar un sensor de corriente (TC) a un Arduino, la señal de salida del TC necesita ser acondicionada de manera que esta sea compatible con los requerimientos de las entradas analógicas del Arduino; p.e. una tensión positiva entre 0V y la tensión de referencia del ADC del Arduino.

El circuito que hace que dichas condiciones se cumplan se divide en dos partes:

- El sensor TC y una resistencia burden
- El divisor de voltaje de polarización (R1 y R2)

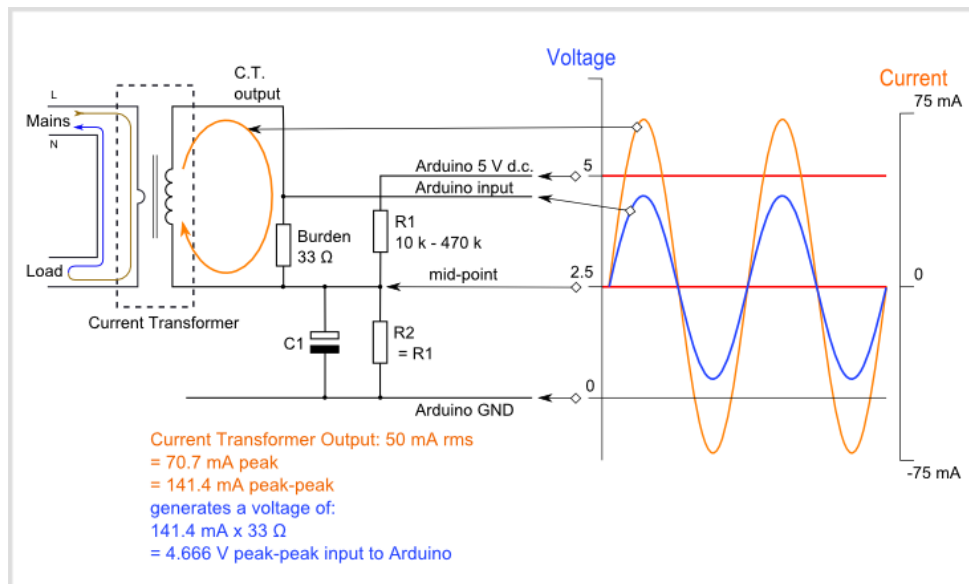


Figura 23 Circuito de acondicionamiento de la señal del TC

3.3.2 Sustitución del teclado

En el diseño anterior, se ha observado que el uso de un teclado analógico, aunque práctico, ha llegado a suponer un problema en cuanto a su uso se refiere.

El diseño del teclado analógico hace uso de un divisor de tensión el cual entrega un cierto valor de tensión cuando un botón es presionado.

El problema recae cuando un botón presionado se sale de los rangos de tensión establecidos para su lectura, cuando una tecla presionada se sale de los rangos de tensión establecidos para que se obtenga un valor deseado a la salida, obteniendo una tecla distinta, o una tecla completamente distinta; p.e. al presionar el botón 3, se obtenía un 2, o si al presionar un 5, se obtenía un 6.

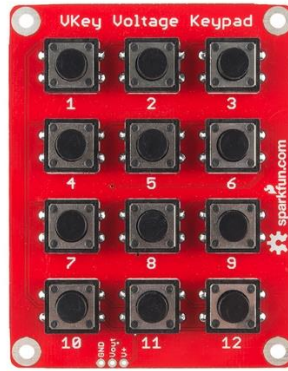


Figura 24 Teclado analógico

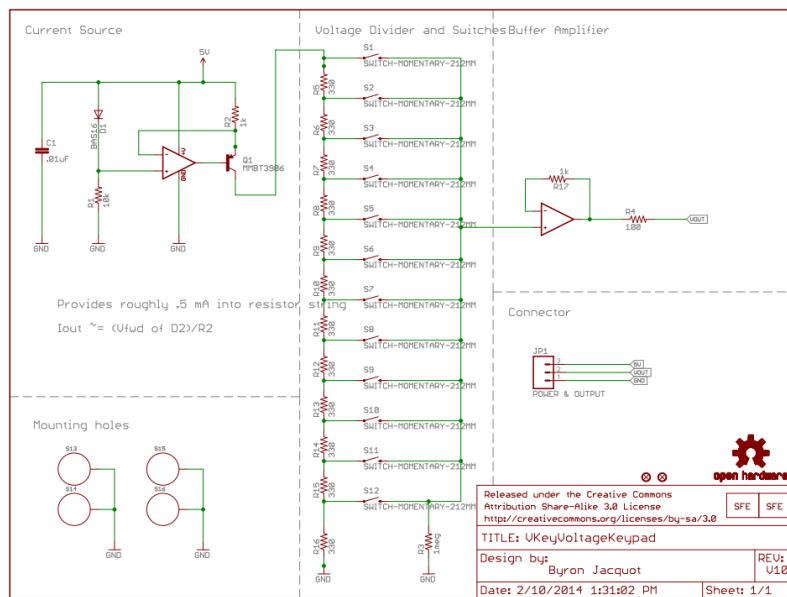


Figura 25 Diagrama esquemático del teclado analógico

Es por ello, que se ha optado por hacer uso de un teclado digital 4x4: obteniendo como principal ventaja el hecho de no tener que trabajar con rangos de tensión, sino solamente con estados lógicos, ello facilita en gran medida la manera en la que se trabaja con la instancia del teclado, ya que se obtiene el valor deseado directamente, además de que dicho teclado no hace uso de pulsadores mecánicos, sino de membranas para cada uno de los contactos que componen los botones del teclado. Sin embargo para el uso de un teclado digital, se necesita de una mayor cantidad de líneas/cables para su conexión, lo cual supone un problema ligeramente mayor si en dado caso el teclado llega a fallar, ya que es necesario revisar cada una de las líneas conectadas al mismo para llegar a la raíz del problema.

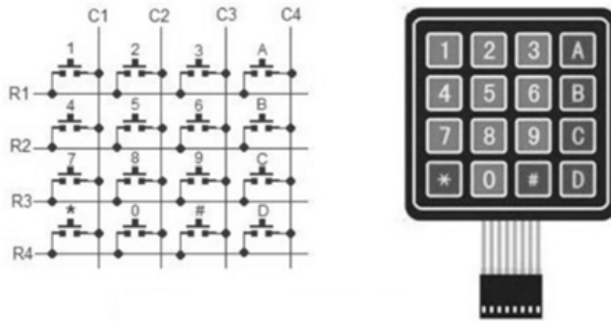


Figura 26 Teclado digital 4x4, a la izquierda su diagrama esquemático

Con respecto al resto de la circuitería, se ha seguido el mismo diseño, con todo lo demás añadido para el primer diseño del Analizador EER.

3.3.3 Diagrama esquemático

El diseño final para la circuitería del Analizador EER se plasma por medio del siguiente diagrama:

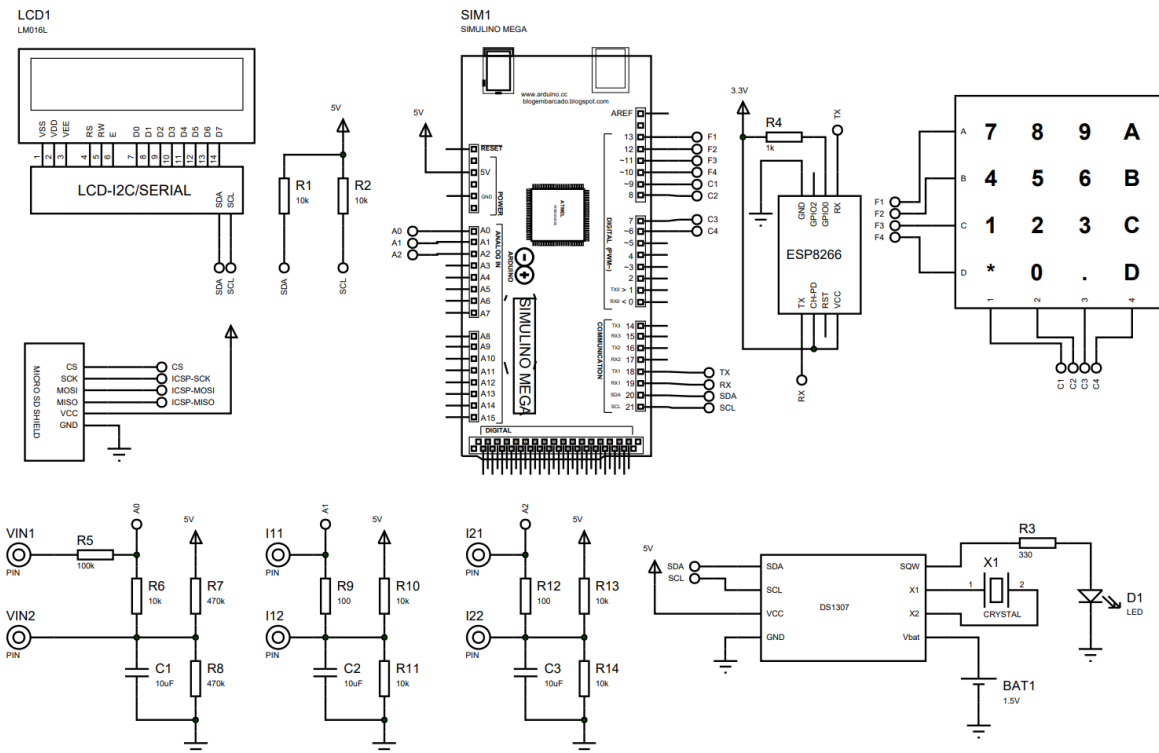


Figura 27 Diagrama esquemático para el subsistema principal del Analizador EER

3.3.4 Diseño para los módulos sensores

Al igual que con el diseño anterior al actual, el diseño para los módulos que miden la temperatura y humedad de forma remota no sufren cambios. Este circuito está compuesto por un módulo ESP8266 conectado con un sensor de temperatura y humedad DHT11, el cual envía las lecturas al módulo WiFi y el módulo WiFi envía las lecturas de forma remota al Analizador.

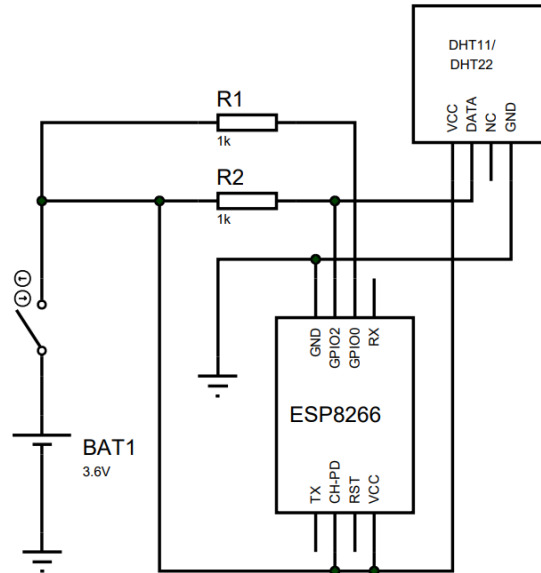


Figura 28 Diagrama para los módulos sensores

3.3.5 Adiciones al programa principal

Con la finalidad de poder dar una mayor accesibilidad al manejo de las configuraciones del Analizador EER de forma manual, se realizaron los siguientes cambios al programa principal:

- **Número ID del equipo a medir**

Para poder identificar el equipo de AA que se ha medido, es posible ahora añadir un número a modo de poder identificarlo, a diferencia del diseño anterior que guardaba todas las mediciones en un solo archivo, ahora las mediciones pueden ser almacenadas en archivos separados.



Figura 29 Opción Id. Equipo AA

- **Definición de la unidad de tiempo para los intervalos de medición**

Con la finalidad de poder establecer una unidad de medición distinta a los minutos para definir los intervalos de medición, se ha realizado un cambio que permite cambiar la magnitud de los intervalos de muestreo ya sea en minutos o segundos.

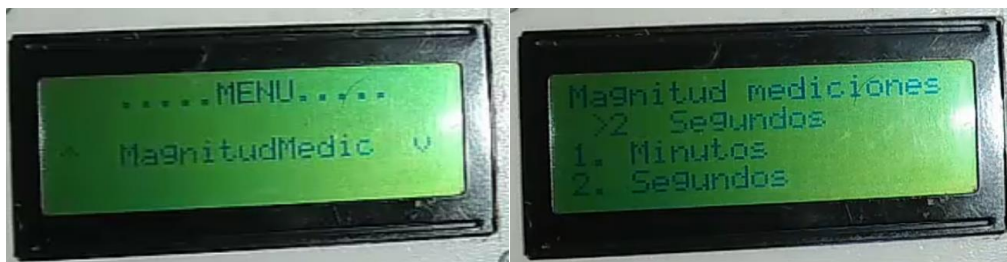


Figura 30 Opción MagnitudMedic

- **Cambio en la configuración del periodo de medición**

Anteriormente, la definición del periodo de medición se establecía en número total de mediciones. Por ejemplo: Para intervalos de medición de 1 minuto, realizar 120 mediciones, o sea, estaríamos definiendo un periodo de medición de 2h.

A modo de simplificar el método de definición del periodo de medición, se ha cambiado el método anterior, a uno donde se define el periodo total de medición en formato de hh:mm:ss.



Figura 31 Opción Intervalo Med

- **Verificación del periodo de medición**

A modo de facilitar el acceso a la verificación de configuraciones realizadas, se añadió una opción en el menú que muestra solamente la configuración aplicada para el periodo de medición y sus intervalos.



Figura 32 Opción ResumenConfig

- **Ventana de medición de tensión y corriente**

Es posible tener una vista de las mediciones de tensión y corriente pulsando el botón C desde la ventana principal del Analizador.



Figura 33 Ventana de tension y corriente

3.4 Ficha técnica

Se han elaborado las siguientes tablas en formato de hoja técnica con la finalidad de resumir las capacidades de medición del Analizador EER.

3.4.1 Hoja técnica para el subsistema principal

Características Técnicas		
Circuito de alimentación	Tensión alimentación	110-240 Vc.a. / 60 Hz
		9-12 Vc.c.
Circuito de medida	EER	
	Tensión	121 Vc.a. f-n / 208-240Vc.a. f-f
	Corriente	.../5 A
Porcentaje de Error	V	2%
	A	8.48%
	P	10.49%
Salida	2 salida digital	Interfaz SO en display del analizador
		Interfaz SO inalámbrica(MOVIL)
Entrada	2 entradas digitales	Configuraciones de mediciones desde analizador
		Configuraciones de mediciones desde aplicación movil
Comunicaciones	Protocolo	TCP-IP
	Velocidad	115200 baudio
Características constructivas	Envolvente	Plastico
	Dimensiones	200x157x64 mm
	Grado protección IP	Frontal: IP51 Trasera: IP31
Condiciones Ambientales	Temperatura de trabajo	-5...+45°C
	Humedad realtiva	5....95%
	Altitud máxima	1000m

Tabla 7 Hoja técnica para el subsistema principal

3.4.2 Hoja técnica para los módulos sensores

Características Técnicas

Circuito de alimentación	Tensión alimentación	3.6V, 400mAh baterías NiMH
Circuito de medida	Temperatura	DHT11
	Humedad	DTH11
Salida	1 salida digital	Interfaz SO en display del analizador
Comunicaciones	Protocolo	TCP-IP
	Velocidad	115200 baudio
Características constructivas	Envolvente	Plastico
	Dimensiones	57x60x34 mm
	Grado protección IP	Frontal: IP51 Trasera: IP31

Tabla 8 Hoja técnica para los módulos sensores

3.5 Desarrollo de Aplicación Móvil

La Figura 22 describe las funcionalidades de la App. Cuando el cliente se encuentre en la pantalla de inicio tendrá la acción de conectar con el equipo analizador, una vez conectado con el servidor automáticamente se deberá mostrar una pantalla de datos, en la que el cliente deberá ingresar datos de la duración del intervalo de la medición, área del conducto y velocidad del viento para configurar el equipo analizador, sin embargo, si el equipo analizador ya ha sido configurado el cliente tendrá la opción de solo saltar dicha pantalla, tanto la opción de “ingresar datos” como la opción de “saltar” llegaran a la pantalla de mediciones, donde al cliente se le presentara una lista de las mediciones que el equipo analizador está registrando. Por tanto, al seleccionar una de las mediciones enlistadas, se direccionará a imprimir en pantalla la medición seleccionada, sin embargo, si el cliente necesita visualizar una variable de medición diferente, este tendrá la opción de seleccionarla y cambiar de pantalla de muestra de datos siendo capaz de cambiar entre pantallas en el momento que lo desee.

3.5.1 Funcionamiento de la Aplicación Móvil

Una de las principales facilidades que se desean lograr con la implementación de una aplicación móvil es el modificar los parámetros de entrada con los cuales trabaja el Analizador EER, para comenzar con el proceso de medición de forma remota. En este caso se ha establecido que la aplicación tenga la capacidad de poder modificar los parámetros: Duración de la medición, intervalos de mediciones, área del conducto de salida del evaporador del equipo de AA, y la velocidad del flujo de aire de dicho conducto.

Para el desarrollo de nuestra aplicación, se ha optado por hacer uso de App Inventor, una herramienta de diseño de aplicaciones móviles diseñado por el MIT, la cual tiene la facilidad de poder expresar funciones de programación básicas y avanzadas de forma gráfica a través de una interfaz de bloques.

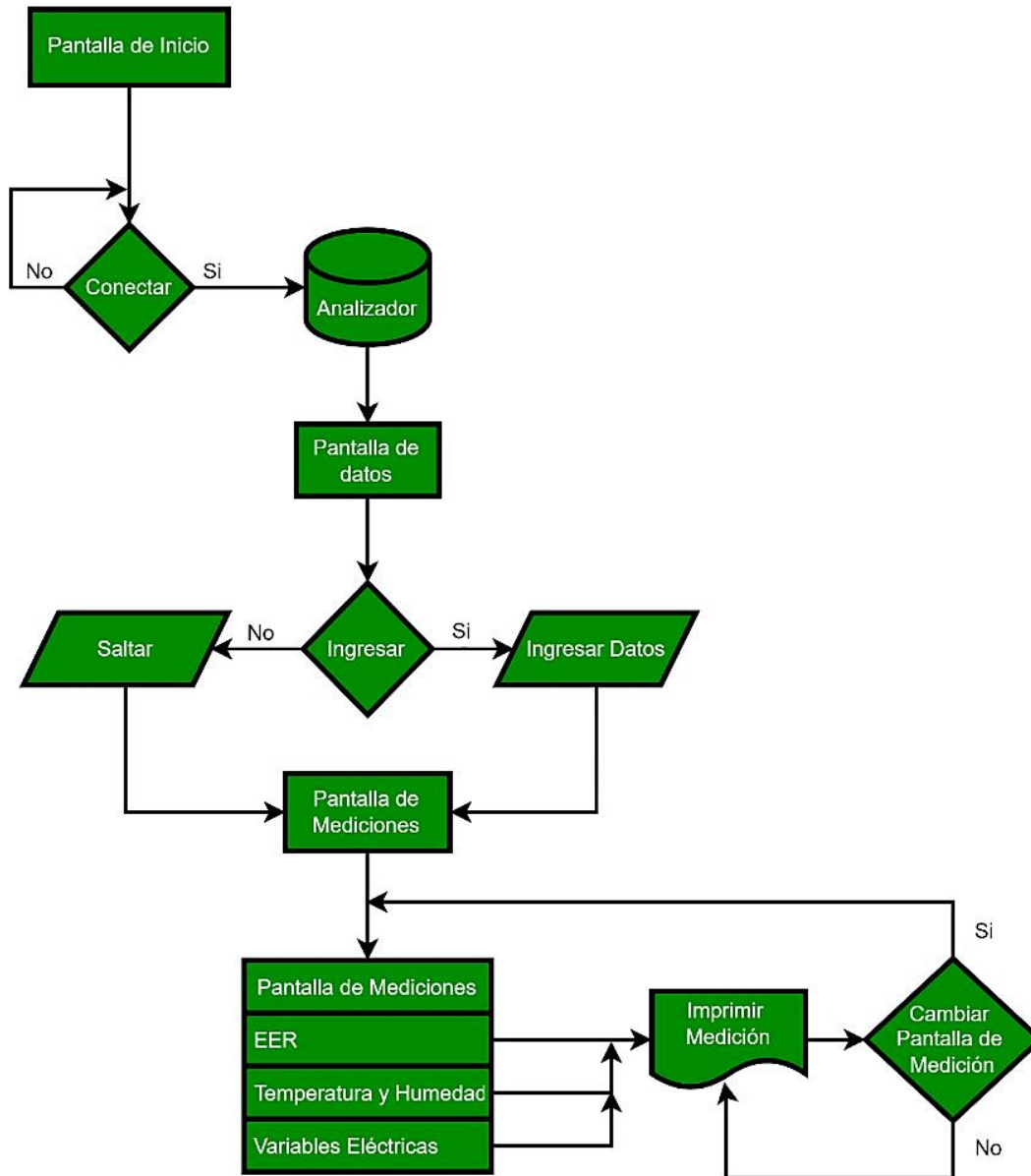


Figura 34 Diagrama de procesos de la aplicación móvil.

3.5.2 Modificación de los parámetros de medición.

Los cuatro parámetros mencionados anteriormente se manejan de la siguiente manera para ser codificados posteriormente dentro de la URL que conformará la solicitud que enviará la aplicación hacia el Analizador EER:

- **Duración de las mediciones:**

Este parámetro se encuentra expresado en formato de horas, segundos y minutos (hh:mm:ss); para que esta información en cuestión sea comprensible para el Analizador EER, se realizan una serie de cálculos para expresar esta duración en términos de un Número de mediciones

que se realizarán en función del intervalo de muestreo; de igual forma se puede expresar la Duración de mediciones en minutos o segundos.

- **Intervalo de las mediciones:**

Indica el lapso de tiempo, expresado en minutos o segundos (mm o ss) donde se realizará un muestreo para recoger los datos necesarios para la medición de EER.

- **Área del conducto:**

Comprende el Área en metros cuadrados (m^2) del conducto de salida del componente evaporador del equipo de AA que se esté midiendo.

- **Velocidad del aire:**

Velocidad del flujo de aire expresado en metros sobre segundos (m/s) que circula por el conducto de salida del evaporador del AA.

La figura 23 muestra el diagrama de bloques que tendrá la función de enviar la solicitud de cambio de parámetros al equipo analizador.

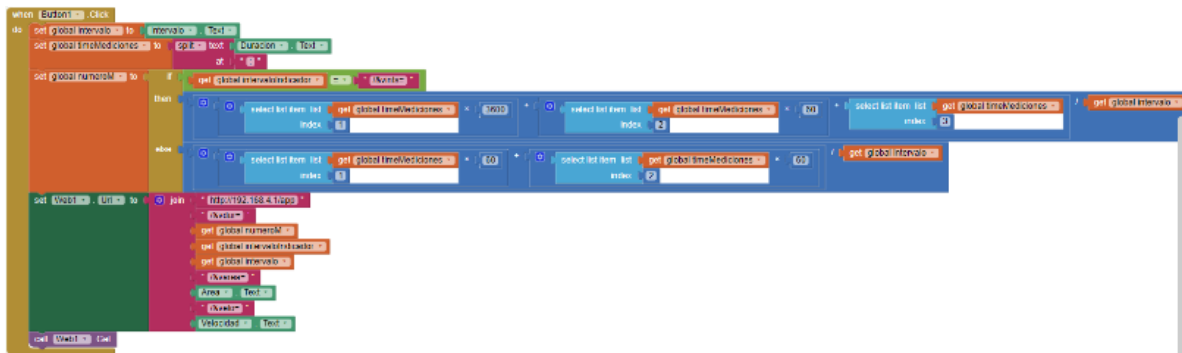


Figura 35 Diagrama de bloques para la función de envío de solicitud de cambio de parámetros.

- **Extracción de los valores de interés para la medición de la EER.**

Puesto que la aplicación se encarga de monitorear el proceso de medición, para ello es necesario ejecutar un método para poder manejar cadenas de texto enviadas entre el Analizador EER y los componentes que se conectan a este mismo de forma remota. Por tanto, en la figura 24 se muestra un diagrama de bloques que tendrá la función de decodificar las variables que están siendo censadas por el equipo analizador.

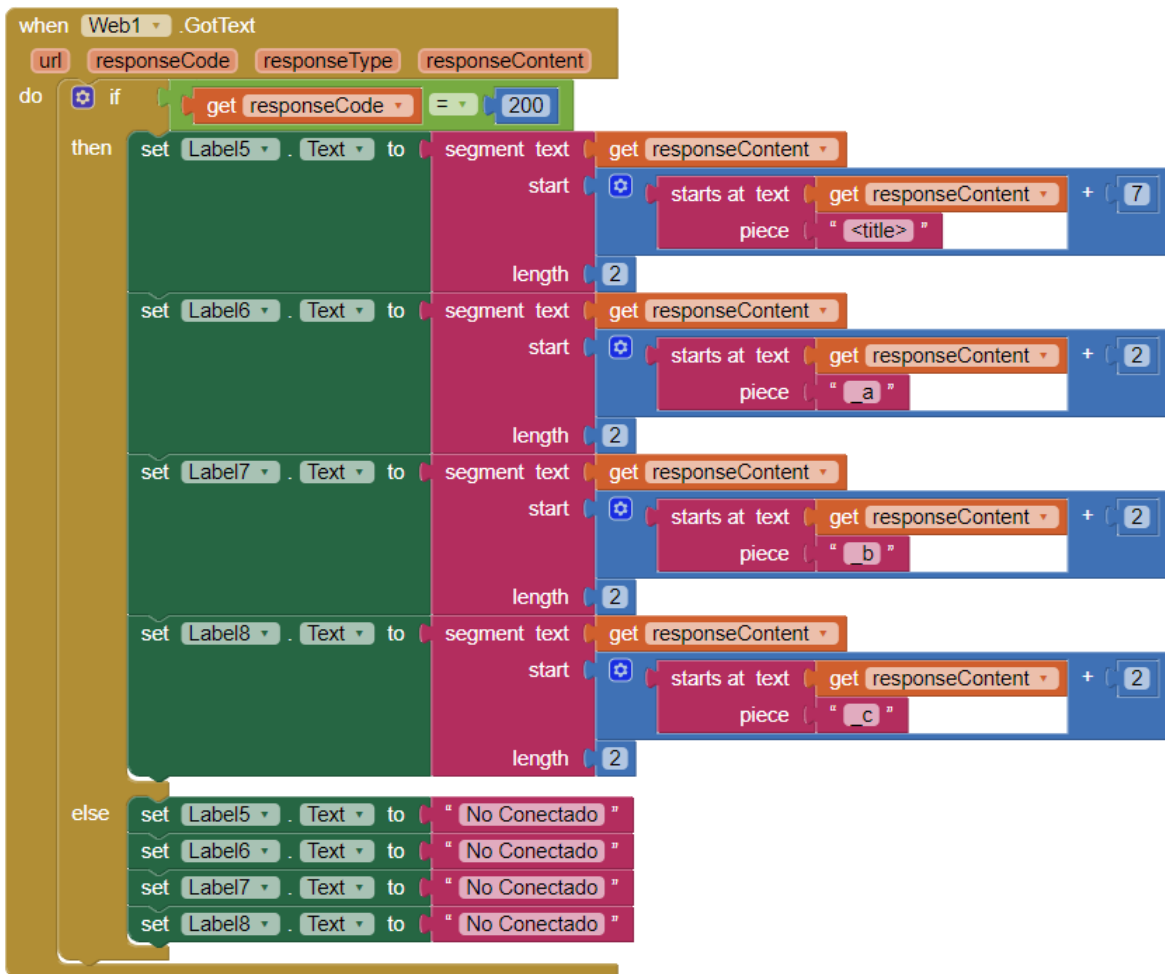


Figura 36 Diagrama de bloques para la decodificación de variables medidas por el equipo analizador.

La idea principal detrás de la decodificación de cadenas de caracteres se basa en la extracción de las variables de interés para su posterior impresión en la pantalla de la aplicación móvil. Para ello la figura 25 muestra una de las URL que se decodifican por parte de la aplicación.

```
¡Conectado!<!DOCTYPE HTML>
<html>
<head><title>0_a0_b0_c0</title></html>
```

Figura 35: Texto recibido por la aplicación para su posterior decodificación.

Se puede observar que hay partes en la respuesta recibida por la aplicación que se componen de ceros, estos son extraídos por medio de la delimitación de caracteres de inicio y finalización para extraer los caracteres intermedios (el valor entre dichos caracteres) y luego mostrarse en pantalla.

- **Decodificación de la información recibida por el Analizador EER.**

Para el apartado de modificación de los parámetros de medición, el Analizador EER se encarga de recibir una solicitud que porta dichos parámetros dentro de su URL para posteriormente configurarse como parte de los parámetros utilizados por el mismo Analizador en cuestión. La figura 26 muestra la solicitud interceptada por el terminal del IDE de Arduino al momento de ejecutar la acción, luego de la solicitud se muestra el parámetro extraído para luego ser asignado a la variable de interés correspondiente.

```
GET /app/&vdur=2417.5/&vints=2/&varea=0.11/&velo=4.223 HTTP/1.1
2417.5/
2
0.11
4.223
```

Figura 37 Solicitud interceptada por el terminal del IDE de Arduino

3.5.3 Interfaz gráfica de la Aplicación Móvil.

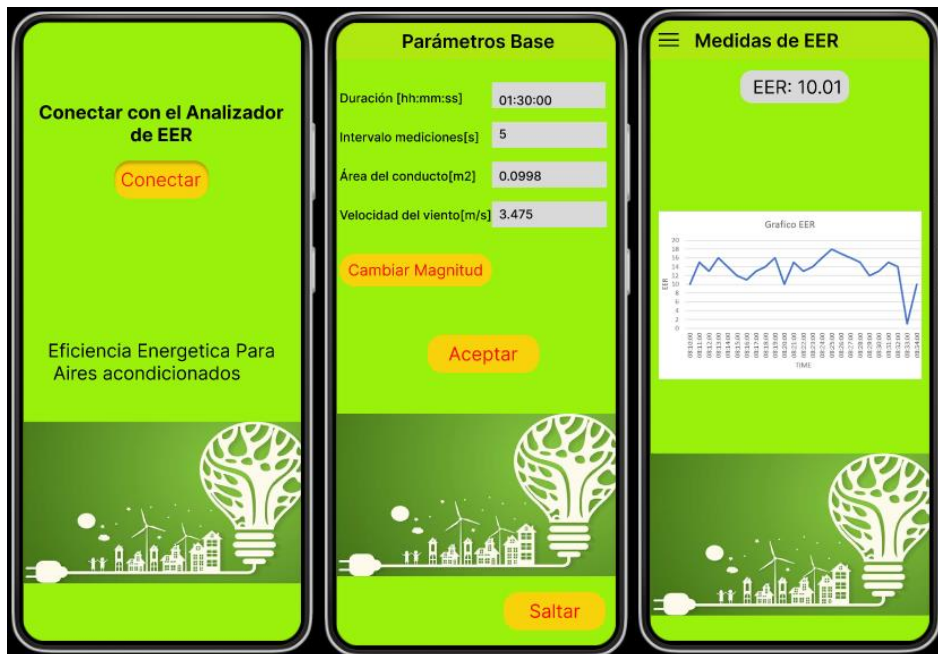




Figura 38 Interfaz gráfica de la aplicación móvil.

4 MANUAL DE USO DEL ANALIZADOR

Para la correcta utilización del analizador de EER se explicarán las diferentes funciones que realizan las teclas del analizador para el ingreso de los parámetros de medición. Así mismo se seguirá una serie de pasos para configurar el equipo de EER, tomando en cuenta de que ya están colocados los sensores de temperatura y humedad y que ya se han tomado mediciones de velocidad y área.

4.1 Funciones del teclado

El teclado que se muestra en la figura 28 tiene 16 pulsadores en arreglo de 4x4, el cual opera emitiendo una tensión analógica para codificar la tecla que se ha pulsado. Dicho teclado tal como se muestra en la figura tiene un nombramiento como se muestra grabado en la placa, a diferencia de la fila 4, el pulsador 10 representa el asterisco (*), el pulsador 11 el cero (0) y el pulsador 12 el punto (.)



Figura 39 Teclado digital 4x4.

4.1.1 Funciones por cada pulsador

Pulsador 1: Tiene la función de ingresar un 1 en la pantalla del analizador.

Pulsador 2: Tiene la función de ingresar un 2 en la pantalla del analizador.

Pulsador 3: Tiene la función de ingresar un 3 en la pantalla del analizador.

Pulsador 4: Tiene la función de ingresar un 4 en la pantalla del analizador.

Pulsador 5: Tiene la función de ingresar un 5 en la pantalla del analizador y la función de iniciar la grabación de lecturas en el archivo .csv de la tarjeta SD (al tener presionado dicho pulsador por dos segundos).

Pulsador 6: Tiene la función de ingresar un 6 en la pantalla del analizador.

Pulsador 7: Tiene la función de ingresar un 7 en la pantalla del analizador.

Pulsador 8: Tiene la función de ingresar un 8 en la pantalla del analizador y la función de detener la grabación de lecturas en el archivo xls de la tarjeta SD (al tener presionado dicho pulsador por dos segundos).

Pulsador 9: Tiene la función de ingresar el 9 en la pantalla del analizador.

Pulsador *: Tiene la función de ingresar un asterisco (*) en la pantalla del analizador, la función de entrar al menú de configuraciones (al tener presionado dicho pulsador por dos segundos), guardar los ajustes de las configuraciones y retroceder.

Pulsador 0: Tiene la función de ingresar un 0 en la pantalla del analizador, seleccionar una configuración del menú y la función de cambiar la pantalla de las mediciones de temperatura y humedad a la pantalla del EER (manteniéndolo presionado por 2 segundos).

Pulsador #: Tiene la función de ingresar un punto (.) en la pantalla del analizador y pasar de la pantalla de registro de mediciones y EER a la pantalla de mediciones de temperatura y humedad (manteniéndolo presionado por 2 segundos)

Pulsador A: Utilizado con la finalidad de ingresar al menú de opciones desde la pantalla principal e ingresar a las mismas una vez dentro del menú

Pulsador B: Utilizado para retroceder en las opciones del menú y la pantalla principal, pudiendo devolver al usuario a la selección del menú de opciones o a la pantalla principal, en caso no se esté en el menú de opciones.

Pulsador C: En la pantalla principal, se utiliza para acceder a la pantalla de mediciones de tensión y corriente. En el menú de opciones, se utiliza para desplazarse hacia arriba entre las mismas.

Pulsador D: Utilizado solamente en el menú de opciones, utilizado para desplazarse hacia abajo en el menú.

4.2 Pasos para el proceso de medición con el analizador de EER.

Paso 1

Ingresar al menú de configuraciones con el botón A para parametrizar la hora y fecha en caso de no haber sido configurada anteriormente.



Figura 40: Pantalla para configurar la hora y fecha del Analizador EER.

Paso 2

Regresar al menú de configuraciones para parametrizar el número con el que se identificará el aire acondicionado a medir.



Figura 41: Pantalla para configurar el número de identificación del AA a medir.

Paso 3

Regresar al menú de configuraciones para definir la velocidad del flujo de aire a la salida del evaporador del equipo AA en m/s.



Figura 42 Pantalla para parametrizar la velocidad de flujo de aire del conducto de ventilación.

Paso 4

De la misma manera, regresar al menú principal y parametrizar el área del conducto anteriormente mencionado.



Figura 43 Pantalla para configurar el área del conducto de ventilación del aire acondicionado.

Paso 5

Definir la unidad de tiempo en la cual se realizarán los intervalos de muestreo de mediciones, se presiona 1 para minutos y 2 para segundos.



Figura 44: Pantalla para configurar la unidad de tiempo para el intervalo de mediciones.

Paso 5

Definir la duración de los intervalos de muestreo y la duración de periodo total de medición en formato de horas:minutos:segundos. En la Figura 34, la configuración realizada expresa un periodo de medición de 10 minutos con intervalos de medición de 2 segundos.



Figura 45: Pantalla para configurar la duración de los intervalos de medición y la duración del periodo de medición.

Paso 6

Es posible verificar que las configuraciones realizadas para el periodo de medición se aplicaron correctamente en la opción Resumen Config. donde muestra la duración del

periodo de medición, los intervalos de medición y el número total de mediciones que realizará el Analizador en función de la duración del periodo de medición y los intervalos.



Figura 46: Pantalla para observar las configuraciones aplicadas para los intervalos de medición.

Paso 7

Identificar si el analizador ha conectado exitosamente la señal inalámbrica de los sensores de temperatura y humedad a la entrada y salida del aire acondicionado junto a las mediciones de corriente y voltaje, tal como se muestra en la figura 36, donde el equipo ha comenzado a recibir la señal de los sensores de temperatura y humedad a la entrada y salida del AA.



Figura 47: Pantalla de mediciones de temperatura y humedad de los sensores, corriente y tensión del AA.

Paso 8

Presionar el pulsador 5 para que el analizador comience el proceso de registro de lecturas en el archivo .csv de la tarjeta SD, este se notara fácilmente ya que dicho equipo comenzara a contabilizar cada lectura en los intervalos configurados anteriormente, estas mediciones se podrán visualizar en la pantalla ya que aparecerá un asterisco junto a SD y un apartado que indicara que las mediciones están siendo guardadas, tal como se muestra en la figura 37.



Figura 48: Pantalla del EER con el número de mediciones.

5 PRUEBAS Y RESULTADOS

5.1 Prueba preliminar


HOJA DE DATOS			
			
EDIFICIO DE ING. ELÉCTRICA CUBÍCULO DOCENTE			
N° de Inventario		Modelo	AS186L2C2
Marca	WESTINGHOUSE	N° Serial	A35990
Capacidad	13000 BTU/h	Tipo	Ventana
MEDICIONES			
Largo	0.635 m	Ancho	0.0635 m
Intervalos	1 minuto	N° de Mediciones	120
Temp. entrada	20.25°C	Humedad entrada	72.17%
Temp. salida	8.54°C	Humedad salida	88.10%
Potencia	2.364 kW	Vel. Flujo aire	5.218 m/s
EER medido	12.48	Capacidad medida	2.457 TON
COMENTARIOS			
<ul style="list-style-type: none"> - El equipo presenta una alta demanda de potencia para su funcionamiento a comparación de los equipos medidos anteriormente los cuales ofrecen una mayor capacidad de enfriamiento por prácticamente la misma potencia. - Expulsa aire con mucha humedad. - Se demora un tiempo considerable en climatizar el área donde está instalado. - El equipo se encuentra ubicado a uno de los costados del edificio de ingeniería eléctrica donde recibe poco o nada de exposición solar. - Al estar ubicado en un segundo piso, este se encuentra cerca del techo de lámina, el cual almacena aire caliente entre este y el cielo falso, afectando al rendimiento del mismo. 			

Tabla 8 Hoja de datos de medición del equipo de AA del Cubículo de docentes de la EIE-UES. Información extraída de [5].

Los resultados que se muestra en la Tabla 8, corresponden a una prueba realizada en un diseño anterior del Analizador EER al que se posee actualmente, en el cual las mediciones se realizaban sin monitoreo remoto por aplicación móvil, sin embargo, ya se tenía la capacidad de muestreo de forma remota, por lo tanto, cabe mencionar que dichos resultados serán utilizados con fines comparativos entre los distintos tipos de tecnologías que utilizan los equipos de AA en los cuales se realizaron pruebas.

A partir de dicha prueba se obtuvo el siguiente gráfico a partir de las mediciones de EER:

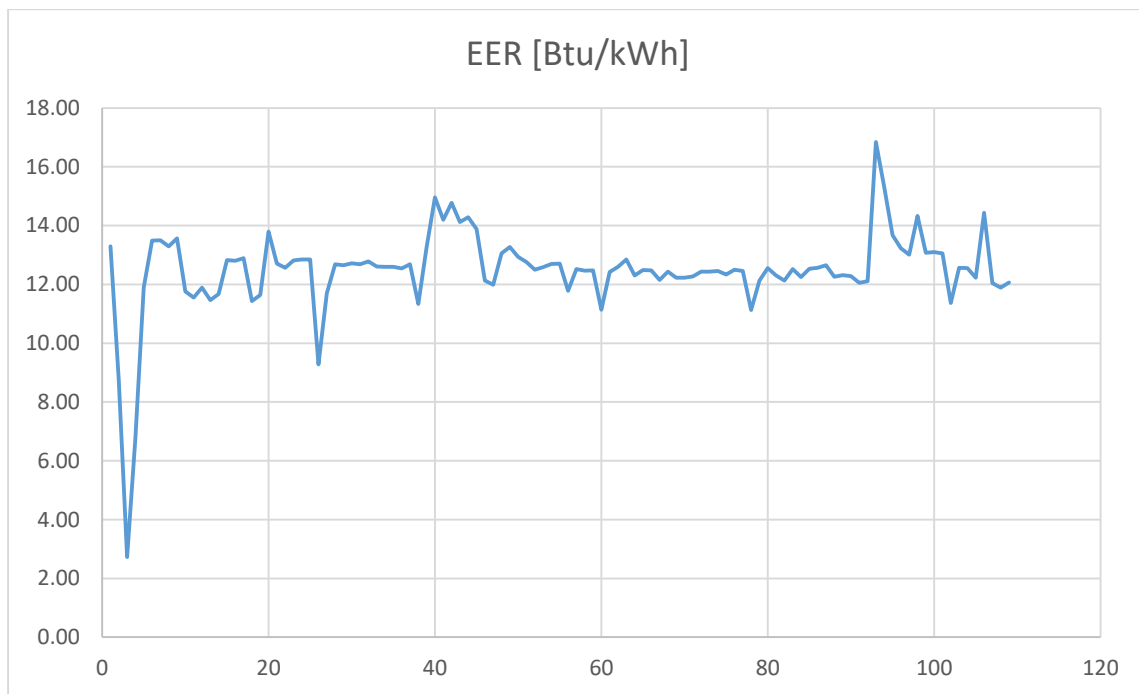


Figura 49 Gráfica generada a partir del registro de EER de la Tabla 7

5.1.1 Interpretación de los resultados

De los resultados obtenidos para las mediciones, es posible destacar que el equipo en cuestión ha estado funcionando durante varios años, lo cual nos mostraba como resultado un valor de la EER relativamente bajo. Es posible observar ciertos picos en la gráfica obtenida para la EER, lo cual es debido a que la unidad compresora se apagaba cuando la sala alcanzaba la temperatura deseada. De momento, las mediciones se realizaban supervisando de forma directa el Analizador EER conectado al subtablero que alimentaba dicho equipo de AA.

5.2 Primera prueba.



PRUEBA NÚMERO 1			
			
EDIFICIO DE ING. ELÉCTRICA SALA DE POSTGRADOS (A/C 1)			
N° de Inventario	----	Modelo	YHFE24YJMAXAO-X
Marca	YORK	N° Serial	
Capacidad	24000 BTU/h	Tipo	Split
MEDICIONES			
Largo	0.975 m	Ancho	0.1 m
Intervalos	1 minuto	N° de Mediciones	120
Temp. entrada	22.00 °C	Humedad entrada	60.19%
Temp. salida	6.83 °C	Humedad salida	87.94%
Potencia	1.751 kW	Vel. Flujo aire	3.376 m/s
EER medido	19.16	Capacidad medida	2.795 TON
COMENTARIOS			
<ul style="list-style-type: none"> - El equipo se encuentra trabajando en buen estado. - El compresor se encuentra a nivel de suelo desde donde se extiende su evaporador hacia una primera planta, a una distancia cercana al evaporador. - La única fuga de aire que podría considerarse para el equipo es un vidrio que se ha retirado de la ventana desde donde pasa el tubo y el alimentador del evaporador. - El salón de postgrados posee dos equipos de AA instalados, para lo cual se decidió poner en marcha exclusivamente el equipo a medir, de manera que el otro equipo que no se estaba midiendo no interfiriera en las mediciones registradas por el analizador EER. 			

Tabla 9 Hoja de datos de medición del equipo de AA de la Sala de Posgrados de la EIE-UES. Información extraída de [5].

Para la primera prueba, se midió uno de los dos equipos del salón de posgrados de la Escuela de Ingeniería Eléctrica. No se muestra un estadístico de los resultados obtenidos debido al interés en la obtención de errores y su posterior corrección para siguientes pruebas.

Entre los resultados obtenidos en la primera prueba es posible observar lo siguiente:



Figura 50: Capturas de pantalla con mediciones vista desde la App para la primera prueba.



Figura 51: Fotografías vistas desde el Analizador para las lecturas de voltaje, corriente, temperatura y humedad.

5.2.1 Interpretación de los resultados

Tomando en cuenta que las capturas y fotografías tomadas corresponden a una etapa de pruebas y calibraciones, los resultados para las mediciones de voltaje y corriente se alejan considerablemente de las mediciones que se podrían esperar a comparación de un multímetro convencional. En cambio para las mediciones de temperatura las mediciones son coherentes y no observan mayores anomalías.

5.3 Segunda prueba.


PRUEBA NÚMERO 2			
			
Marca	ComfortStar	Modelo	
Capacidad		Tipo	Split - Inverter
MEDICIONES			
Largo	0.675m	Ancho	0.09 m
Intervalos	10 segundos	Periodo de medición	10 minutos
Temp. entrada	23.00°C	Humedad entrada	74.00%
Temp. salida	8.00°C	Humedad salida	88.00%
Potencia	586.47 W	Vel. Flujo aire	3.376 m/s
EER medido	45.43	Capacidad medida	2.2 tr
COMENTARIOS			
<ul style="list-style-type: none"> - El equipo es completamente nuevo. - El compresor se encuentra sobre tejado en un lugar donde recibe incidencia del sol. - El equipo está correctamente dimensionado para la habitación donde se encuentra instalado, sin embargo al ser un equipo con tecnología Inverter, observaba mediciones de EER relativamente elevadas debido a la baja corriente que demandaba el equipo de AA. - Las mediciones para el AA en cuestión fueron realizadas a puerta cerrada. Sin cargas térmicas. - Cuando se obtuvieron valores mínimos de potencia, se solicitó a uno de los integrantes que permaneciera en la habitación a modo de ejercer una carga térmica sobre el equipo de AA. 			

Tabla 10 Hoja de datos de medición del equipo de AA.

Primeramente, cabe mencionar que la tabla anterior se refiere a los resultados obtenidos después de la medición. Entre los resultados obtenidos, es posible observar el siguiente comportamiento para el funcionamiento del Analizador EER:

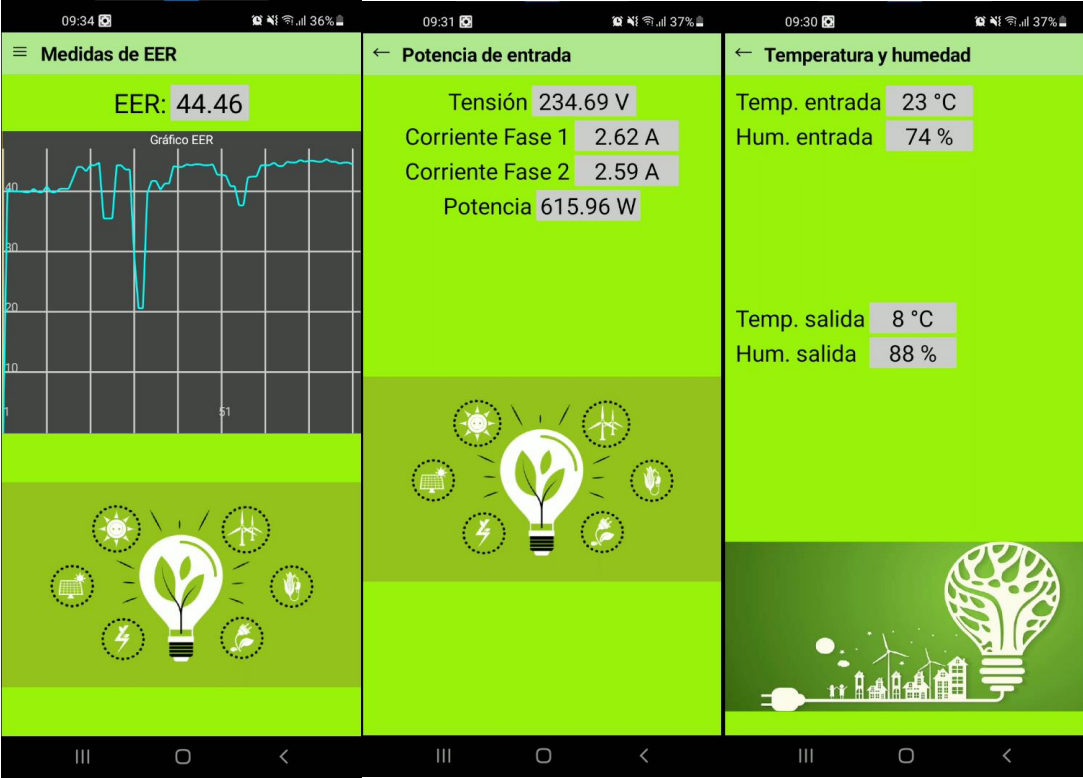


Figura 52: Capturas de pantalla para la segunda prueba.



Figura 53: Fotografías del Analizador para la segunda prueba.

5.3.1 Estadístico de los resultados

Una vez finalizado el periodo de medición, se procede a hacer un análisis de los resultados obtenidos en el registro de mediciones en un archivo .csv

Hora	IRMS[A]	VRMS[V]	POTENCIA[W]	Te	Ts	He	Hs	EER
09:28:06	2.97	234.1	695.54	23	8	74	88	36.66
09:28:17	2.69	234.1	630.24	23	8	74	88	40.46
09:28:29	2.61	234.1	610.34	23	8	74	88	41.78
09:28:40	2.97	234.1	695.38	23	8	74	88	36.67
09:28:52	3.16	234.1	738.76	23	8	74	88	34.52
09:29:03	2.58	234.1	603.7	23	8	74	88	42.24
09:29:14	3.29	234.1	771.31	23	8	74	88	33.06
09:29:24	3.39	234.1	794.22	23	8	74	88	32.11
09:29:35	2.84	234.1	665.26	23	8	74	88	38.33
09:29:47	2.61	238.16	621.79	23	8	74	88	41.01
09:29:58	2.79	234.1	653.47	23	8	74	88	39.02
09:30:10	2.84	234.1	663.82	23	8	74	88	38.41
09:30:21	2.7	236.22	638.67	23	8	74	88	39.93
09:30:33	2.65	234.1	620.45	23	8	74	88	41.1
09:30:44	2.6	235.75	613.69	23	8	74	88	41.55
09:30:56	2.67	234.34	625.15	23	8	74	88	40.79
09:31:07	2.61	234.1	611.09	23	8	74	88	41.73
09:31:19	2.62	234.69	615.96	23	8	74	88	41.4
09:31:29	2.62	236.23	618.98	23	8	74	88	41.2
09:31:39	2.64	234.1	617.34	23	8	74	88	41.31
09:31:49	2.61	235.26	614.98	23	8	74	88	41.47
09:31:59	3.89	236.54	921.09	23	8	74	88	27.68
09:32:09	2.59	234.1	606.86	23	8	74	88	42.02
09:32:19	2.72	234.1	637.19	23	8	74	88	40.02
09:32:30	2.67	234.1	625.29	23	8	74	88	40.78
09:32:41	2.47	235.16	580.32	23	8	74	88	43.94
09:32:51	3.07	234.1	719.13	23	8	74	88	35.46
09:33:02	5.3	234.1	1239.91	23	8	74	88	20.57
09:33:14	2.47	234.1	577.43	23	8	74	88	44.16
09:33:25	2.46	234.1	576.06	23	8	74	88	44.27
09:33:37	2.89	234.1	676.35	23	8	74	88	37.7
09:33:48	2.44	234.1	570.81	23	8	74	88	44.67
09:34:00	2.42	234.1	567.49	23	8	74	88	44.94
09:34:11	2.45	234.1	572.4	23	8	74	88	44.55
09:34:22	2.29	234.1	536.78	23	8	74	88	47.51
09:34:32	2.36	234.1	553.32	23	8	74	88	46.09
09:34:43	2.35	234.1	549.88	23	8	74	88	46.37
09:34:55	2.34	234.1	548.88	23	8	74	88	46.46
09:35:06	2.41	242.9	584.97	23	8	74	88	43.59
09:35:18	2.36	234.1	553.42	23	8	74	88	46.08

09:35:29	2.16	234.1	506.41	23	8	74	88	50.36
09:35:40	1.85	234.1	433.37	23	8	74	88	58.84
09:35:50	1.83	234.1	429.13	23	8	74	88	59.42
09:36:01	1.84	234.1	429.87	23	8	74	88	59.32
09:36:12	1.88	234.1	439.07	23	8	74	88	58.08
09:36:22	1.84	234.1	431.28	23	8	74	88	59.13
09:36:33	1.83	234.1	428.14	23	8	74	88	59.56
09:36:45	1.84	234.1	429.62	23	8	74	88	59.36
09:36:56	1.81	234.1	424.21	23	8	74	88	60.11
09:37:08	1.78	234.1	416.97	23	8	74	88	61.16
09:37:19	2.15	234.1	503.66	23	8	74	88	50.63
09:37:30	1.88	234.1	439.91	23	8	74	88	57.97
09:37:40	1.91	234.1	446.44	23	8	74	88	57.12
09:37:51	1.85	234.1	434.03	23	8	74	88	58.75
09:38:03	1.93	234.1	450.8	23	8	74	88	56.57
09:38:14	1.82	234.1	426.48	23	8	74	88	59.79
09:38:26	1.89	238.49	451.42	23	8	74	88	56.49
09:38:37	2.6	234.1	608.18	23	8	74	88	41.93
09:38:48	2.31	234.1	541.05	23	8	74	88	47.13
09:38:58	2.49	241.34	600.75	23	8	74	88	42.45

Tabla 11 Registro de mediciones de EER para la segunda prueba de AA.

Asimismo, se tiene una gráfica en función del tiempo para la EER registrada en los 10 minutos de medición.

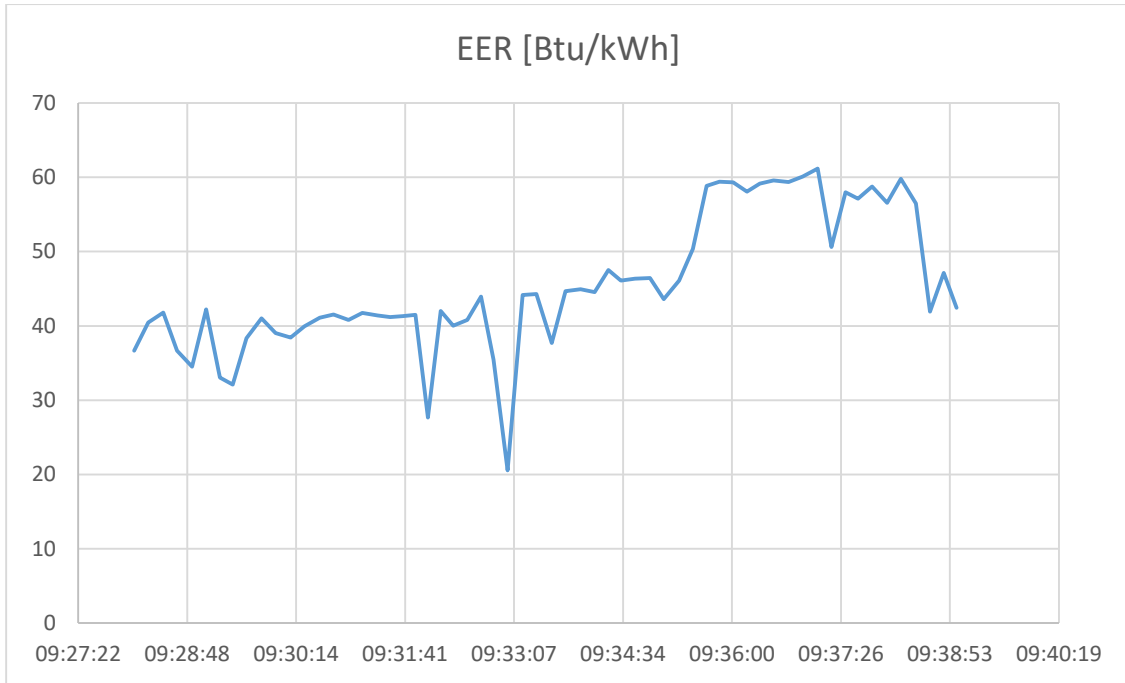


Figura 54 Gráfica generada a partir del registro de EER de la Tabla 7

5.3.2 Interpretación de los resultados

Una vez realizados los ajustes de calibración correspondientes a las mediciones de voltaje y corriente, es posible observar que las mediciones de dichos valores muestran un comportamiento más estable y más cercano a los que se esperaría obtener en comparación a otros equipos para medición de corriente y voltaje. Las mediciones de temperatura y humedad, al igual que con la prueba anterior observan el mismo comportamiento sin anomalías.

5.4 Comparación entre los equipos de AA medidos

Para los equipos de AA medidos podemos sintetizar la siguiente información respecto a los resultados obtenidos:

Variables medidas	Prueba preliminar (AA tipo ventana)	Primera prueba (AA tipo Split)	Segunda prueba (AA tipo Inverter)
Corriente [A]	11.36	8.21	2.50
Tensión [V]	208.15	213.18	234.7
Potencia [W]	2363.57	1750.80	586.47
Temp. Entrada [°C]	20.25	22.00	23.00
Temp. Salida [°C]	8.54	6.83	8.00
Hum. Entrada [%]	72.17	60.19	74.00
Hum. Salida [%]	88.10	87.94	88.00
EER [Btu/kWh]	12.48	19.16	45.42
Capacidad medida [Tr]	2.46	2.80	2.22

Tabla 12 Cuadro comparativo para los distintos tipos de AA medidos.

Para los tres equipos medidos, se puede observar una tendencia a que la EER medida va en aumento, en orden del equipo más antiguo al más reciente. Asimismo destacar cómo la potencia disminuye para cada tipo de equipo, tomando en cuenta la capacidad térmica medida para estos mismos; en este caso, para el AA de ventana, con una potencia de 2.4kW, en comparación al equipo Inverter, que requería de 0.6kW para poder enfriar a una capacidad térmica relativamente similar entre ellas (2.46 y 2.22 tr respectivamente).

Como podemos observar también, el equipo con mayor capacidad térmica medida es el equipo de tipo Split (2.8 tr), debido a que posee una capacidad nominal de 24000Btu, en comparación a los otros equipos, que poseían una capacidad de 13000Btu para el equipo de ventana y, 12000Btu para el equipo de tipo Inverter.

Tomando como base, las condiciones de funcionamiento para cada equipo de AA así como el estado en los cuales se encontraban, podemos determinar que el equipo de AA de ventana presenta un consumo energético considerablemente mayor a comparación a los equipos tipo Split e Inverter, si se toma en cuenta la capacidad térmica obtenida a partir de los resultados.

5.5 Costo Final del equipo

Tomando en cuenta los costos de los componentes electrónicos, sensores y módulos que constituyen el equipo se ha elaborado la siguiente lista de materiales y el costo de cada uno de ellos, utilizados para el desarrollo del Analizador EER. Asimismo, se hizo una estimación para el costo de la elaboración en cuanto a mano de obra y proceso de programación se refiere de aproximadamente el 40% del costo total de los componentes; siendo para este, un total de \$234.50 dólares estadounidenses:

N°	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo	Total
1	Arduino MEGA 2560	U	1	\$ 24.50	\$ 24.50
2	Módulos WiFi ESP8266	U	3	\$ 6.00	\$ 18.00
3	Sensor de Corriente No- Invasivo SCT-013	U	2	\$ 16.00	\$ 32.00
4	Sensor de temperatura y humedad DHT11	U	2	\$ 3.50	\$ 7.00
5	Baterías NiMH 3.6V 400mAh	U	2	\$ 4.75	\$ 9.50
6	Batería Pb Ácido 6V 1000mAh	U	1	\$ 7.50	\$ 7.50
6	Transformador de tensión 240/9V	U	1	\$ 12.00	\$ 12.00
7	Pantalla LCD 20x4 Caracteres	U	1	\$ 27.00	\$ 27.00
8	Teclado numérico digital 4x4	U	1	\$ 2.00	\$ 2.00
9	Tiras de conectores	U	4	\$ 2.00	\$ 8.00
10	Tarjeta de cobre 10x10cm	U	2	\$ 1.00	\$ 2.00
11	Componentes electrónicos varios	U	1	\$ 15.00	\$ 15.00
12	Carcasa plástica para módulos sensores	U	2	\$ 15.00	\$ 30.00
13	Carcasa plástica para el Analizador	U	1	\$ 40.00	\$ 40.00
14	Programación y elaboración				\$ 100.00
	TOTAL				\$ 334.50

Tabla 13 Lista de materiales utilizados para elaboración del Analizador EER.

6 RECOMENDACIONES

- En caso de rediseñar una unidad con la capacidad de medición de potencia de forma remota, es necesario realizar un análisis de los tiempos a los cuales se envían las solicitudes de los clientes que se encuentren conectados al módulo WiFi que sirve como Access Point conectado al Analizador EER. Esto, debido a que en las etapas de prueba, se pudo observar errores con la coordinación de las solicitudes, en ocasiones donde estas tendían a sincronizarse y por ende, terminaban entrelazándose las cadenas de texto que eran enviadas del módulo WiFi hacia el puerto Serial del Arduino.
- Para un mejor funcionamiento, es posible realizar un redimensionamiento de la capacidad de las baterías que suministran tanto el Analizador EER como los módulos sensores que se conectan a éste. Con ello, es necesario también obtener un cargador que posea una interfaz de conexión que tenga la capacidad de conectar tanto la batería que energizará el Analizador como los módulos sensores; de ser posible que dicho cargador pueda mostrar por medio de LEDs el nivel de carga de dichas baterías.
- A fin de obtener una mayor versatilidad para la alimentación del Analizador EER, se podría añadir una derivación a partir de cada una de las borneras que miden tensión, de manera que la fuente que energiza el Analizador pueda ser alimentada desde las terminales de medición de tensión, en caso de no poseer un tomacorriente cerca.
- Otra de las funcionalidades que se podría añadir a la Aplicación móvil, es que tenga la capacidad de generar su propio archivo .csv y que se guarde en el almacenamiento interno del dispositivo móvil.
- Es posible elaborar detalles a fin de mejorar el diseño del mecanizado de chasis del Analizador, tales como la adición de un elemento magnético colocado en la parte trasera del mismo para poder así sostener el Analizador en una superficie metálica en una posición fija. Esto mismo se puede aplicar con el mecanizado del chasis para los módulos sensores, añadiendo un arreglo de ganchos o sujetadores los cuales puedan sostener dichos módulos sin necesidad de utilizar adhesivos u otros elementos para mantener dichos módulos en la posición deseada.

7 CONCLUSIONES

- Uno de los aspectos más importantes que caracterizan el diseño del conjunto del Analizador EER es su capacidad de realizar mediciones de forma remota, ya que este tipo de proceso de medición se adecúa mejor manera al diseño de los equipos de AA actuales, que poseen una unidad compresora y evaporadora separada entre ellas.
- Es cierto que en la actualidad existen plataformas de programación de aplicaciones móviles con muchas más capacidades de programación y funcionalidades a comparación de lo que ofrece AppInventor, sin embargo, se optó por hacer uso de dicha plataforma ya que las funcionalidades de la aplicación desarrollada no suponen un alto nivel de procesamiento o manejo de información.
- La calibración de la circuitería encargada de la medición de tensión y corriente es algo muy importante para el correcto desempeño del conjunto del Analizador EER. Ello es posible hacerse desde la programación del equipo, llegando al punto donde estas mediciones sean coherentes con los valores esperados para tensión y corriente. Realizar una calibración de todos los componentes del equipo pueden marcar la diferencia entre un correcto desempeño del equipo y obtener datos erróneos que puede perjudicar el resultado final.
- En cuanto al diseño del Analizador, la coordinación de las solicitudes es algo muy importante a la hora de la comunicación con el Analizador EER, tomando en cuenta que los módulos sensores y la aplicación móvil se comunican con un sistema el cual genera su propia red WiFi sin conexión a Internet, es preciso para dichas instancias prestar especial atención a esta ocurrencia, de manera que las solicitudes que se envíen hacia el módulo WiFi que se conecta al Analizador EER, no lleguen al mismo tiempo, ya que esto puede afectar los datos finales que extraiga el Analizador EER a partir de las solicitudes recibidas.

8 REFERENCIAS

[1] González, M. (2016) Medidor de Eficiencia Energética para aires Acondiciones de expansión con monitoreo remoto SCADA.

[2] Pocasangre, C., & González, M. (2021). Medidor de Relación de Eficiencia Energética de Bajo Costo para Aires Acondicionados de Ventana y Unidades Separadas. Revista Científica Multidisciplinaria De La Universidad De El Salvador - Revista Minerva, 4(2), 102-123. Recuperado a partir de <https://minerva.sic.ues.edu.sv/index.php/Minerva/article/view/102-123>.

[3] Adaptación de una metodología basada en normas internacionales para el cálculo de eficiencia en unidades de aire acondicionado de expansión. J. M. Menéndez, S. E. Santamaría, G. E. Vega. Universidad de El Salvador, Febrero 2015.

[4] L.E. García, A. E. López, L. F. Morataya (2021). Mejora y Construcción de un Analizador de EER en Equipos de Aire Acondicionado de Expansión.

[5] L.E. García, A. E. López, L. F. Morataya (2021). Adaptación de una metodología basada en normas internacionales para la medición de EER en unidades de aire acondicionado de expansión utilizando Analizador de EER

[6] Norma Técnica Salvadoreña, NTS 23.47.08:14, San Salvador 2014

[7] Norma UNE 100010-2: 1989

[8] Villalpando, J. Trabajo con Cadenas. http://kio4.com/appinventor/68B_trabajosconcadenas.htm

[9] Villalpando, J. Bluetooth, Arduino y App Inventor. Básico. Arduino envía información a App Inventor. http://kio4.com/appinventor/9B_bluetooth_arduino_basico.htm

- [10] SETISAEDU – Conexión en red de múltiples ESP8266 Thing.
<https://github.com/SETISAEDU/conexion-en-red-de-multiples-ESP8266-thing>
- [11] Serial not working with I2C. arduino uno - Serial not working with I2C - Arduino Stack Exchange
- [12] The best battery for ESP8266 microcontrollers (diyi0t.com)
- [13] Can Arduino handle multiple serial SPI, I2C, SoftwareSerial at one sketch? - Using Arduino / Project Guidance - Arduino Forum
- [14] Cómo utilizar el DHT11 para medir la temperatura y humedad con Arduino (programarfacil.com)
- [15] Conectar Arduino por WiFi con el módulo ESP8266 ESP01 (luisllamas.es)
- [16] Guía para configurar un ESP-01, el módulo WiFi basado en ESP8266 (programarfacil.com)
- [17] CT Sensors - Interfacing with an Arduino. Learn | OpenEnergyMonitor
- [18] A Beginner's Guide to the ESP8266 (tttapa.github.io)
- [19] Installing — ESP8266 Arduino Core documentation (arduino-esp8266.readthedocs.io)
- [20] Keypad 4x4. LCD Character display Liquid crystal display (LCD) is a... | Download Scientific Diagram (researchgate.net)
- [21] <https://www.caloryfrio.com/aire-acondicionado/aire-instalaciones-componentes/sistemas-de-refrigeracion-compresion-absorcion.html>

[22] <https://www.climamania.com/blog/partes-aire-acondicionado/>

[23] <https://www.caloryfrio.com/calefaccion/bomba-de-calor/definiciones-cop-y-eer.html>

[24] https://naylorlampmechatronics.com/blog/51_tutorial-sensor-de-corriente-ac-no-invasivo-sct-013.html

[25] <http://statics3.seeedstudio.com/assets/file/bazaar/product/101990028-SCT-013-030-Datasheet.pdf>

9 ANEXOS

9.1 Registro de mediciones para el Cubículo Docentes EIE-UES

Hora	IRMS[A]	VRMS[V]	POTENCIA[W]	Te	Ts	He	Hs	EER
09:40:00	11.30	209.60	2368.48	23.00	10.00	65.00	88.00	13.29
09:41:00	11.20	210.67	2359.50	21.00	13.00	76.00	91.00	8.72
09:42:00	11.20	210.57	2358.38	21.00	17.00	74.00	92.00	2.73
09:45:00	11.20	208.03	2329.94	20.00	13.00	73.00	91.00	6.80
09:46:01	11.40	208.68	2378.95	20.00	9.00	74.00	88.00	11.90
09:47:00	11.20	209.71	2348.75	21.00	9.00	74.00	88.00	13.49
09:48:00	11.30	207.65	2346.44	21.00	9.00	74.00	88.00	13.50
09:49:00	11.20	209.74	2349.09	21.00	9.00	73.00	88.00	13.29
09:50:00	11.30	209.58	2368.25	21.00	9.00	75.00	88.00	13.57
09:51:00	11.40	207.88	2369.83	20.00	9.00	73.00	88.00	11.76
09:53:01	11.30	210.32	2376.62	20.00	9.00	72.00	88.00	11.55
09:55:00	11.20	209.35	2344.72	20.00	9.00	73.00	88.00	11.89
09:56:00	11.30	211.66	2391.76	20.00	9.00	72.00	88.00	11.47
09:57:00	11.30	208.10	2351.53	20.00	9.00	72.00	88.00	11.67
09:58:00	11.30	210.14	2374.58	20.00	8.00	73.00	88.00	12.83
09:59:00	11.20	209.40	2345.28	20.00	8.00	72.00	88.00	12.81
10:00:00	11.20	208.19	2331.73	20.00	8.00	72.00	88.00	12.89
10:01:01	11.30	209.22	2364.19	20.00	9.00	71.00	88.00	11.43
10:02:01	11.20	210.55	2358.16	20.00	9.00	72.00	88.00	11.64
10:03:00	11.20	208.02	2329.82	20.00	7.00	71.00	88.00	13.80
10:04:00	11.20	208.00	2329.60	20.00	8.00	71.00	88.00	12.71
10:05:00	11.30	208.64	2357.63	20.00	8.00	71.00	88.00	12.56
10:06:00	11.20	209.25	2343.60	20.00	8.00	72.00	88.00	12.82
10:07:00	11.20	208.72	2337.66	20.00	8.00	72.00	88.00	12.85
10:08:01	11.10	210.64	2338.10	20.00	8.00	72.00	88.00	12.85
10:09:00	11.20	209.47	2346.06	20.00	11.00	72.00	89.00	9.28
10:10:00	11.30	211.05	2384.86	20.00	9.00	73.00	88.00	11.69
10:11:01	11.30	209.55	2367.91	20.00	8.00	72.00	88.00	12.69
10:12:00	11.30	207.20	2341.36	20.00	8.00	71.00	88.00	12.65
10:13:00	11.20	207.88	2328.26	20.00	8.00	71.00	88.00	12.72
10:14:01	11.30	209.58	2368.25	20.00	8.00	72.00	88.00	12.69
10:15:00	11.20	209.94	2351.33	20.00	8.00	72.00	88.00	12.78
10:16:00	11.20	209.66	2348.19	20.00	8.00	71.00	88.00	12.61
10:17:01	11.40	209.21	2384.99	20.00	8.00	72.00	88.00	12.60
10:19:00	11.40	209.14	2384.20	20.00	8.00	72.00	88.00	12.60
10:20:00	11.30	209.04	2362.15	20.00	8.00	71.00	88.00	12.54
10:21:00	11.30	209.63	2368.82	20.00	8.00	72.00	88.00	12.68
10:22:00	11.20	208.13	2331.06	19.00	8.00	71.00	88.00	11.33

10:23:00	11.30	209.00	2361.70	20.00	8.00	75.00	88.00	13.27
10:24:00	11.30	208.90	2360.57	21.00	9.00	82.00	88.00	14.96
10:25:00	11.60	209.01	2424.52	22.00	10.00	78.00	88.00	14.20
10:26:00	11.60	206.57	2396.21	22.00	10.00	80.00	88.00	14.77
10:27:00	11.60	207.24	2403.98	22.00	10.00	77.00	88.00	14.12
10:28:00	11.30	207.43	2343.96	21.00	9.00	78.00	88.00	14.29
10:29:00	11.50	206.94	2379.81	21.00	9.00	77.00	88.00	13.88
10:30:01	11.50	208.95	2402.92	20.00	9.00	76.00	88.00	12.13
10:31:00	11.30	208.84	2359.89	20.00	9.00	74.00	88.00	11.99
10:33:01	11.30	209.38	2365.99	20.00	8.00	74.00	88.00	13.06
10:34:00	11.30	208.92	2360.80	20.00	8.00	75.00	88.00	13.27
10:35:00	11.30	208.39	2354.81	20.00	8.00	73.00	88.00	12.94
10:36:01	11.30	208.33	2354.13	20.00	8.00	72.00	88.00	12.76
10:37:00	11.50	209.00	2403.50	20.00	8.00	72.00	88.00	12.50
10:38:00	11.40	206.27	2351.48	20.00	8.00	71.00	88.00	12.59
10:39:01	11.30	206.30	2331.19	20.00	8.00	71.00	88.00	12.70
10:40:00	11.30	206.21	2330.17	20.00	8.00	71.00	88.00	12.71
10:41:00	11.30	209.37	2365.88	20.00	9.00	73.00	88.00	11.78
10:44:00	11.30	209.32	2365.32	20.00	8.00	71.00	88.00	12.52
10:45:01	11.30	210.09	2374.02	20.00	8.00	71.00	88.00	12.47
10:46:00	11.30	209.96	2372.55	20.00	8.00	71.00	88.00	12.48
10:47:00	11.40	208.01	2371.31	19.00	8.00	71.00	88.00	11.14
10:48:00	11.40	209.24	2385.34	20.00	8.00	71.00	88.00	12.42
10:49:01	11.30	208.02	2350.63	20.00	8.00	71.00	88.00	12.60
10:50:00	11.20	208.70	2337.44	20.00	8.00	72.00	88.00	12.85
10:51:00	11.40	208.07	2372.00	20.00	8.00	70.00	88.00	12.30
10:52:01	11.40	208.02	2371.43	20.00	8.00	71.00	88.00	12.49
10:53:00	11.30	207.02	2339.33	20.00	8.00	70.00	88.00	12.48
10:54:00	11.40	207.57	2366.30	20.00	8.00	69.00	88.00	12.15
10:56:00	11.20	206.47	2312.46	20.00	8.00	69.00	88.00	12.44
10:57:00	11.40	209.27	2385.68	20.00	8.00	70.00	88.00	12.23
10:58:01	11.30	208.11	2351.64	20.00	8.00	69.00	88.00	12.23
10:59:00	11.30	207.45	2344.18	20.00	8.00	69.00	88.00	12.27
11:01:01	11.30	207.72	2347.24	20.00	8.00	70.00	88.00	12.43
11:02:00	11.30	207.56	2345.43	20.00	8.00	70.00	88.00	12.44
11:03:00	11.30	207.25	2341.92	20.00	8.00	70.00	88.00	12.46
11:04:01	11.30	206.19	2329.95	20.00	8.00	69.00	88.00	12.34
11:05:00	11.40	207.76	2368.46	20.00	8.00	71.00	88.00	12.50
11:06:00	11.20	209.10	2341.92	20.00	8.00	70.00	88.00	12.46
11:07:01	11.20	208.55	2335.76	19.00	8.00	70.00	88.00	11.13
11:08:00	11.30	209.73	2369.95	20.00	8.00	69.00	88.00	12.13

11:09:00	11.20	207.61	2325.23	20.00	8.00	70.00	88.00	12.55
11:10:01	11.30	206.83	2337.18	20.00	8.00	69.00	88.00	12.30
11:11:00	11.50	206.20	2371.30	20.00	8.00	69.00	88.00	12.13
11:12:00	11.30	206.26	2330.74	20.00	8.00	70.00	88.00	12.52
11:13:01	11.40	209.05	2383.17	20.00	8.00	70.00	88.00	12.25
11:14:00	11.40	207.33	2363.56	20.00	8.00	71.00	88.00	12.53
11:15:00	11.30	208.63	2357.52	20.00	8.00	71.00	88.00	12.56
11:16:01	11.30	207.24	2341.81	20.00	8.00	71.00	88.00	12.65
11:17:00	11.50	207.06	2381.19	20.00	8.00	70.00	88.00	12.26
11:18:00	11.50	206.15	2370.72	20.00	8.00	70.00	88.00	12.31
11:19:00	11.40	205.43	2341.90	20.00	8.00	69.00	88.00	12.28
11:20:00	11.40	209.27	2385.68	20.00	8.00	69.00	88.00	12.05
11:21:00	11.40	208.23	2373.82	20.00	8.00	69.00	88.00	12.11
11:22:00	11.40	206.93	2359.00	21.00	8.00	86.00	88.00	16.84
11:23:00	11.60	207.35	2405.26	22.00	10.00	83.00	88.00	15.31
11:24:00	11.50	206.70	2377.05	22.00	10.00	74.00	88.00	13.67
11:25:00	11.80	205.83	2428.79	21.00	9.00	75.00	88.00	13.23
11:26:01	11.80	206.41	2435.64	21.00	9.00	74.00	88.00	13.01
11:27:00	11.70	205.27	2401.66	21.00	9.00	80.00	88.00	14.33
11:28:00	11.70	203.99	2386.68	21.00	9.00	73.00	88.00	13.08
11:29:01	11.50	207.20	2382.80	21.00	9.00	73.00	88.00	13.10
11:30:00	11.60	206.14	2391.22	21.00	9.00	73.00	88.00	13.06
11:31:00	11.60	208.13	2414.31	20.00	9.00	72.00	88.00	11.37
11:32:01	11.50	204.95	2356.92	20.00	8.00	71.00	88.00	12.57
11:33:00	11.40	207.03	2360.14	20.00	8.00	71.00	88.00	12.55
11:34:00	11.60	205.74	2386.58	20.00	8.00	70.00	88.00	12.23
11:35:01	11.50	206.41	2373.71	21.00	8.00	74.00	88.00	14.44
11:36:00	11.60	205.83	2387.63	20.00	8.00	69.00	88.00	12.04
11:38:01	11.50	207.09	2381.53	20.00	8.00	68.00	88.00	11.89
11:39:01	11.60	205.53	2384.15	20.00	8.00	69.00	88.00	12.06

Tabla A.1 Registro de mediciones de EER para la prueba preliminar. Extraído de [5]

9.2 Registro de mediciones para el equipo del Salón posgrados EIE-UES

Hora	IRMS[A]	VRMS[V]	POTENCIA[W]	Te	Ts	He	Hs	EER
09:55:01	8.05	212.46	1710.30	21.00	11.00	52.00	81.00	10.31
09:56:00	8.08	211.57	1709.49	22.00	9.00	56.00	88.00	15.25
09:57:00	8.16	212.88	1737.10	22.00	8.00	56.00	88.00	16.48
09:59:00	8.08	212.62	1717.97	22.00	6.00	57.00	88.00	19.82
10:00:00	8.16	211.55	1726.25	22.00	5.00	60.00	88.00	21.92
10:10:00	8.11	211.86	1718.18	23.00	7.00	56.00	88.00	19.88
10:11:01	8.04	212.00	1704.48	22.00	6.00	56.00	88.00	19.69
10:12:00	8.11	212.73	1725.24	22.00	7.00	56.00	88.00	18.04
10:13:00	8.07	214.23	1728.84	22.00	7.00	56.00	88.00	18.01
10:14:01	8.17	211.40	1727.14	22.00	6.00	58.00	88.00	19.99
10:15:00	8.17	211.29	1726.24	22.00	6.00	55.00	88.00	19.17
10:16:00	8.06	211.52	1704.85	22.00	6.00	53.00	88.00	18.84
10:17:01	8.11	211.34	1713.97	22.00	6.00	57.00	88.00	19.86
10:18:00	8.12	210.66	1710.56	22.00	8.00	54.00	88.00	16.18
10:19:00	8.23	210.91	1735.79	22.00	7.00	61.00	88.00	19.31
10:20:00	8.12	211.19	1714.86	22.00	7.00	54.00	88.00	17.59
10:21:00	8.07	212.00	1710.84	22.00	6.00	57.00	88.00	19.90
10:22:00	8.15	211.56	1724.21	22.00	6.00	55.00	88.00	19.19
10:23:01	8.19	210.96	1727.76	22.00	7.00	59.00	88.00	18.85
10:24:01	8.14	211.68	1723.07	22.00	7.00	56.00	88.00	18.07
10:25:00	8.19	212.03	1736.53	22.00	7.00	59.00	88.00	18.75
10:26:00	8.22	209.58	1722.75	22.00	7.00	58.00	88.00	18.63
10:28:00	8.27	210.66	1742.16	22.00	6.00	56.00	88.00	19.27
10:29:00	8.17	212.45	1735.72	22.00	6.00	57.00	88.00	19.61
10:30:01	8.14	213.87	1740.90	22.00	7.00	59.00	88.00	18.71
10:31:01	8.12	211.26	1715.43	22.00	7.00	59.00	88.00	18.99
10:32:00	8.22	212.16	1743.96	22.00	7.00	55.00	88.00	17.58
10:33:00	8.10	212.52	1721.41	22.00	7.00	57.00	88.00	18.36
10:34:01	8.16	213.16	1739.39	22.00	7.00	54.00	88.00	17.35
10:35:00	8.11	215.58	1748.35	22.00	7.00	57.00	88.00	18.08
10:36:00	8.16	214.55	1750.73	22.00	7.00	56.00	88.00	17.78
10:37:01	8.21	214.55	1761.46	22.00	7.00	57.00	88.00	17.95
10:38:00	8.17	213.02	1740.37	22.00	7.00	55.00	88.00	17.61
10:39:00	8.28	213.89	1771.01	22.00	7.00	56.00	88.00	17.58
10:40:01	8.15	213.93	1743.53	22.00	7.00	55.00	88.00	17.58
10:41:00	8.20	213.47	1750.45	21.00	7.00	55.00	88.00	15.84
10:42:00	8.18	213.13	1743.40	22.00	7.00	54.00	88.00	17.31
10:43:00	8.25	211.54	1745.20	22.00	7.00	56.00	88.00	17.84

10:44:01	8.19	213.33	1747.17	22.00	7.00	56.00	88.00	17.82
10:45:00	8.14	213.25	1735.85	22.00	7.00	55.00	88.00	17.66
10:46:00	8.20	213.59	1751.44	22.00	7.00	55.00	88.00	17.50
10:47:00	8.17	213.25	1742.25	22.00	7.00	55.00	88.00	17.59
10:48:00	8.21	213.65	1754.07	22.00	7.00	55.00	88.00	17.47
10:49:00	8.29	212.77	1763.86	23.00	7.00	57.00	88.00	19.65
10:50:00	8.14	213.81	1740.41	23.00	7.00	54.00	88.00	19.04
10:51:00	8.22	212.62	1747.74	22.00	7.00	55.00	88.00	17.54
10:52:00	8.16	213.13	1739.14	22.00	7.00	55.00	88.00	17.62
10:53:01	8.16	213.97	1746.00	22.00	7.00	56.00	88.00	17.83
10:54:00	8.16	214.48	1750.16	22.00	7.00	55.00	88.00	17.51
10:55:00	8.14	213.74	1739.84	22.00	6.00	59.00	88.00	20.12
10:56:01	8.19	212.44	1739.88	22.00	7.00	60.00	88.00	18.99
10:57:00	8.15	213.00	1735.95	22.00	6.00	56.00	88.00	19.33
10:58:00	8.22	213.14	1752.01	22.00	7.00	63.00	88.00	19.68
10:59:01	8.18	213.22	1744.14	22.00	7.00	56.00	88.00	17.85
11:00:00	8.16	213.26	1740.20	22.00	7.00	66.00	88.00	20.64
11:01:00	8.19	214.55	1757.16	22.00	6.00	66.00	88.00	21.82
11:02:00	8.23	212.16	1746.08	22.00	7.00	56.00	88.00	17.83
11:03:01	8.22	212.90	1750.04	22.00	7.00	70.00	88.00	21.61
11:04:01	8.28	213.23	1765.54	22.00	7.00	71.00	88.00	21.69
11:05:00	8.29	214.09	1774.81	22.00	7.00	57.00	88.00	17.81
11:06:00	8.19	213.44	1748.07	22.00	7.00	57.00	88.00	18.08
11:07:00	8.13	212.98	1731.53	22.00	7.00	57.00	88.00	18.26
11:08:00	8.18	213.03	1742.59	22.00	7.00	57.00	88.00	18.14
11:09:00	8.13	212.78	1729.90	22.00	7.00	57.00	88.00	18.27
11:10:01	8.26	212.82	1757.89	22.00	7.00	57.00	88.00	17.98
11:11:01	8.07	214.55	1731.42	22.00	6.00	57.00	88.00	19.66
11:12:00	8.21	213.37	1751.77	22.00	7.00	57.00	88.00	18.04
11:13:00	8.30	212.17	1761.01	22.00	7.00	57.00	88.00	17.95
11:14:00	8.32	214.07	1781.06	22.00	7.00	57.00	88.00	17.75
11:15:00	8.18	212.23	1736.04	22.00	7.00	57.00	88.00	18.21
11:16:00	8.21	211.70	1738.06	22.00	6.00	57.00	88.00	19.59
11:17:01	8.24	214.65	1768.72	22.00	6.00	57.00	88.00	19.25
11:18:00	8.20	213.97	1754.55	22.00	7.00	57.00	88.00	18.02
11:19:00	8.22	212.97	1750.61	22.00	6.00	57.00	88.00	19.45
11:20:00	8.16	215.36	1757.34	22.00	6.00	57.00	88.00	19.37
11:21:00	8.23	214.51	1765.42	22.00	7.00	57.00	88.00	17.91
11:22:00	8.12	213.24	1731.51	22.00	6.00	57.00	88.00	19.66
11:23:00	8.27	212.08	1753.90	22.00	6.00	57.00	88.00	19.41
11:24:00	8.10	215.05	1741.90	22.00	6.00	57.00	88.00	19.54

11:25:00	8.25	215.49	1777.79	22.00	7.00	57.00	88.00	17.78
11:26:00	8.28	213.48	1767.61	22.00	7.00	57.00	88.00	17.88
11:27:01	8.31	215.52	1790.97	22.00	7.00	57.00	88.00	17.65
11:28:00	8.31	214.22	1780.17	22.00	7.00	57.00	88.00	17.76
11:29:00	8.35	214.19	1788.49	22.00	6.00	57.00	88.00	19.03
11:30:01	8.20	214.35	1757.67	22.00	7.00	57.00	88.00	17.98
11:31:00	8.29	213.42	1769.25	22.00	7.00	56.00	88.00	17.60
11:32:00	8.31	213.77	1776.43	22.00	7.00	55.00	88.00	17.25
11:33:01	8.24	213.82	1761.88	22.00	7.00	56.00	88.00	17.67
11:34:00	8.26	213.62	1764.50	22.00	7.00	56.00	88.00	17.64
11:35:00	8.33	211.61	1762.71	22.00	7.00	56.00	88.00	17.66
11:36:01	8.23	213.39	1756.20	22.00	7.00	62.00	88.00	19.36
11:37:00	8.30	212.85	1766.65	22.00	7.00	57.00	88.00	17.89
11:38:00	8.32	211.58	1760.35	22.00	7.00	68.00	88.00	20.94
11:39:00	8.21	214.12	1757.93	22.00	7.00	72.00	88.00	22.05
11:40:00	8.32	214.13	1781.56	22.00	7.00	76.00	88.00	22.83
11:42:01	8.42	213.75	1799.78	22.00	6.00	81.00	88.00	25.26
11:43:01	8.36	213.70	1786.53	22.00	7.00	81.00	88.00	24.09
11:44:00	8.32	212.80	1770.50	22.00	7.00	81.00	88.00	24.31
11:45:00	8.32	212.09	1764.59	22.00	7.00	81.00	88.00	24.39
11:46:00	8.34	213.20	1778.09	22.00	7.00	81.00	88.00	24.21
11:47:00	8.32	215.18	1790.30	22.00	7.00	81.00	88.00	24.04
11:48:01	8.28	215.35	1783.10	22.00	10.00	81.00	88.00	19.82
11:49:00	8.31	212.02	1761.89	22.00	7.00	81.00	88.00	24.43
11:50:00	8.28	213.82	1770.43	22.00	6.00	81.00	88.00	25.68
11:51:01	8.30	213.43	1771.47	22.00	7.00	81.00	88.00	24.30
11:52:00	8.33	214.05	1783.04	22.00	7.00	81.00	88.00	24.14
11:53:00	8.30	213.96	1775.87	22.00	6.00	81.00	88.00	25.60
11:54:01	8.37	213.27	1785.07	22.00	6.00	81.00	88.00	25.47
11:55:00	8.34	215.68	1798.77	21.00	7.00	59.00	88.00	16.42
11:56:00	8.28	212.76	1761.65	22.00	6.00	58.00	88.00	19.60
11:57:00	8.29	213.30	1768.26	22.00	7.00	57.00	88.00	17.88
11:58:01	8.27	215.72	1784.00	22.00	7.00	59.00	88.00	18.26
11:59:00	8.22	215.36	1770.26	22.00	7.00	57.00	88.00	17.86
12:00:00	8.27	215.15	1779.29	22.00	6.00	55.00	88.00	18.59
12:01:01	8.32	215.35	1791.71	22.00	6.00	58.00	88.00	19.27

Tabla A.2 Registro de mediciones de EER para la primera prueba. Extraído de [5]

9.3 Cómo comenzar a programar el módulo ESP8266

Como es sabido, el ESP8266 trabaja por medio de comandos AT, sin embargo, su microcontrolador posee la suficiente capacidad para poder ejecutar instrucciones de Arduino, por lo cual es posible prescindir del uso de comandos AT. Para ello, es necesario realizar la instalación de un firmware el cual permita a la interfaz de Arduino comunicarse con el ESP8266.

9.3.1 Instalación de firmware para el ESP8266

Para ello, se hizo uso de un Arduino UNO, retirando el microcontrolador, para poder comunicar directamente el módulo WiFi con la computadora, a través del adaptador USB-Serial que posee el Arduino UNO.

Para fijar el módulo ESP8266 en modo de flasheo (para subir un programa), se sigue el siguiente diagrama:

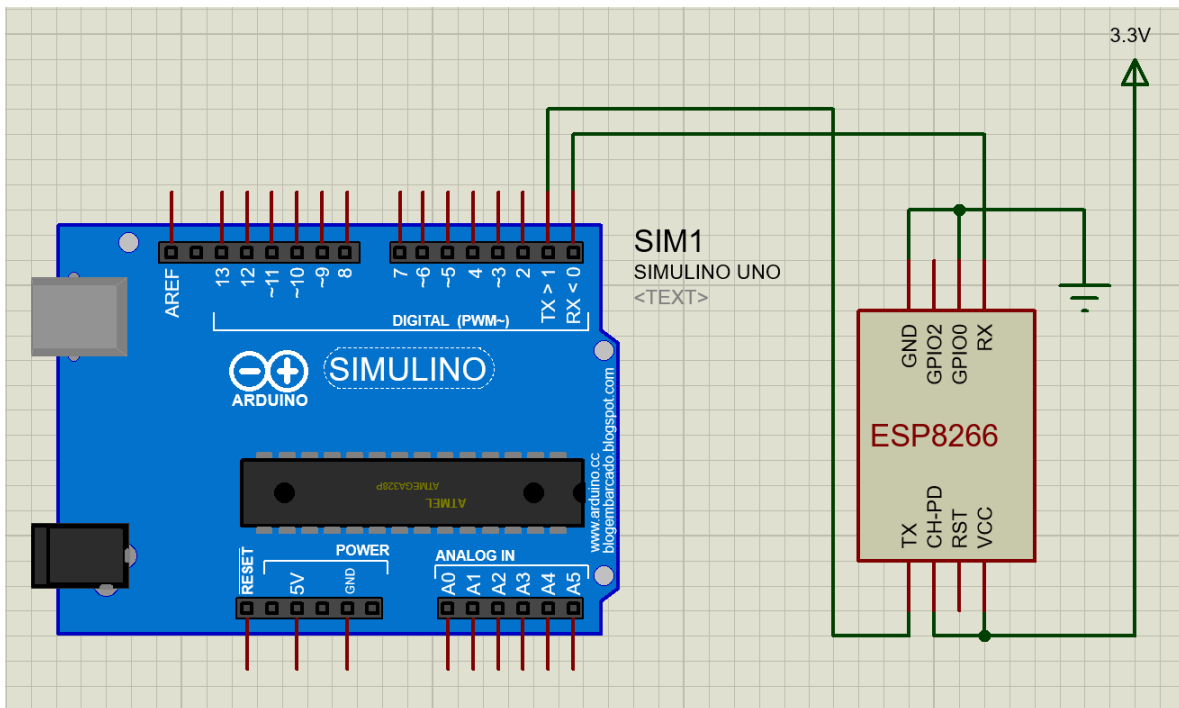


Figura A.1 Diagrama de conexiones para el ESP8266 hacia el Arduino UNO funcionando como adaptador.

Una vez desconectado el microcontrolador del Arduino UNO, se conectan los pines de TX y RX del Arduino con los pines TX y RX del ESP8266 respectivamente, no se aplica la

conexión cruzada de dichos pines puesto que el ESP8266 realiza una comunicación directa con el adaptador USB-Serial.

Importante tomar en cuenta lo siguiente: el ESP8266 posee dos modos de funcionamiento, el modo de debug, el cual se activa conectando el pin GPIO0 directamente a tierra; y el modo de boot, el cual se activa conectando el pin GPIO0 en serie con una resistencia de 1kΩ a la alimentación (3.3V). Esto se aplica siempre que se vaya a cargar o ejecutar un programa al módulo, ajeno a la instalación de un firmware como se muestra actualmente.

Luego, se inicia el programa ESP8266 Flasher Tool para poder introducir el firmware al módulo ESP8266



Figura A.2 Ventana principal para el ESP8266 Flasher Tool.

Se verifica que el programa detecte el Arduino a través de los puertos COM que muestre en su menú. Se selecciona el puerto COM que el programa le haya asignado al Arduino, luego se pulsa el botón (F) acompañado de caracteres. Tener especial cuidado en no realizar movimientos abruptos cuando el ESP8266 Flasher Tool se encuentre cargando el firmware al módulo, a modo de evitar fallas en la compilación.

Una vez, el módulo WiFi ya tenga instalado su firmware, ya es posible hacer pruebas con él y modificaciones en el programa a cargar.

9.3.2 Instalación del Board Manager para tarjetas ESP8266 en el IDE de Arduino

Para que el IDE de Arduino pueda detectar el módulo ESP8266 como una tarjeta a la cual se le puedan compilar programas es necesario seguir los siguientes pasos:

1. Iniciar Arduino y abrir la ventana de Preferencias.
2. Ingresar la dirección de https://arduino.esp8266.com/stable/package_esp8266com_index.json en el apartado de Gestor de URLs Adicionales de Tarjetas.

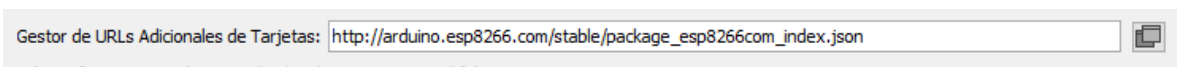


Figura A.3 Introducción de la URL indicada en el punto 2 en la ventana de Preferencias.

3. Abrir la ventana de Gestor de Tarjetas a partir de la pestaña de Herramientas y encontrar la plataforma *esp8266*.
4. Seleccionar la versión que se necesite.
5. Clic en Instalar.
6. Seleccionar la tarjeta ESP8266 que se vaya a utilizar a partir de Herramientas > Placa

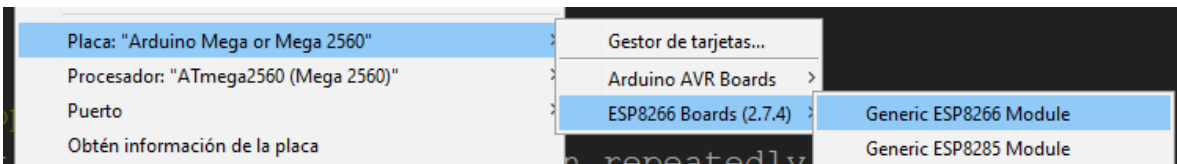


Figura A.4 Selección del módulo WiFi a utilizar desde el menú de Herramientas.

9.4 Comunicación Cliente-Servidor entre módulos ESP8266

La idea principal que compone la implementación de una interfaz inalámbrica por WiFi es el uso de un módulo WiFi ESP8266 que funcionará como servidor, dicho de mejor manera, como un Punto de Acceso; y otros dos módulos ESP8266 los cuales tendrán conectados en sus pines digitales los sensores DHT11 / DHT22 encargados de muestrear los parámetros de temperatura y humedad y almacenarlos en una variable de temperatura y humedad respectivamente, para luego concatenar dichas mediciones en una String que se procederá a enviar por medio del enlace WiFi establecido entre cliente y servidor.

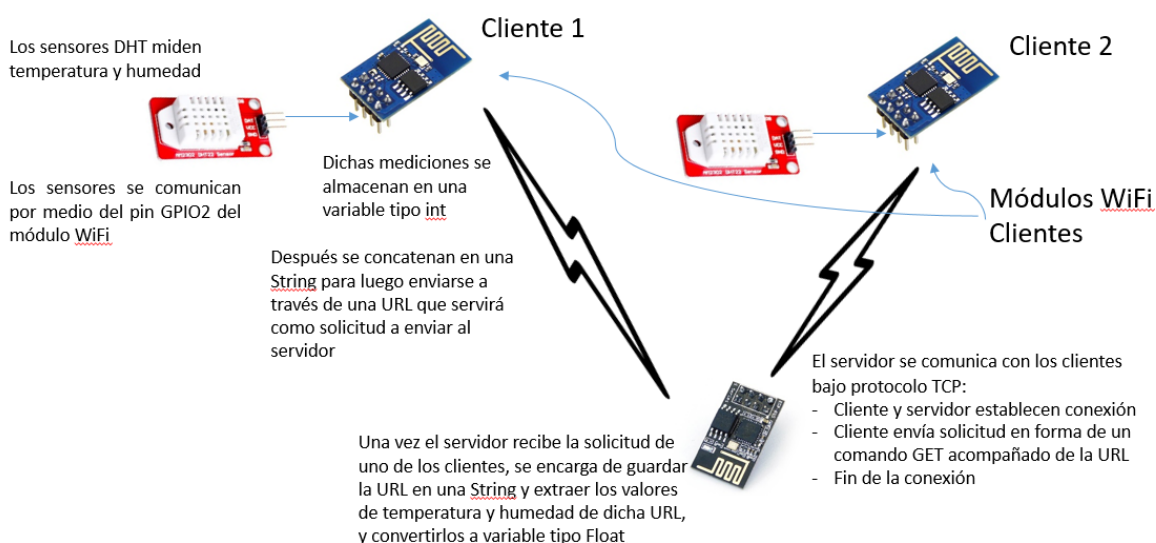


Figura A.5 Esquema principal de funcionamiento de la conexión Cliente-Servidor.

La conexión entre cliente-servidor se realiza mediante el protocolo TCP, la cual consiste en:

- Establecimiento de la conexión
- Transferencia de datos
- Fin de la conexión

Para que el Servidor logre distinguir de qué dispositivo está recibiendo datos, el cliente previamente extrae su dirección MAC para luego concatenarse junto con las mediciones de temperatura y humedad a la URL que se enviará al servidor.

Luego de que el servidor haya establecido conexión con los clientes, y recibir la solicitud de los mismos, el servidor se encarga de almacenar dicha solicitud (URL) en una string y extrae lo siguiente:

- Dirección MAC
- Mediciones de temperatura y humedad

La dirección MAC se extrae para ayudar al servidor a distinguir la fuente de los datos, y las mediciones de temperatura y humedad se almacenan en una variable para su posterior uso.

Los códigos en Arduino para la comunicación entre cliente y servidor se muestran a continuación:

9.4.1 Código para los clientes

```

1. #include <ESP8266WiFi.h>
2. #include <SimpleDHT.h>
3.
4. // Declaracion e inicializacion de variables utilizadas para realizar
   la conexion a la red Wifi local
5. const char* ssid = "no_hay_wifi"; // ID del dispositivo servidor
6. const char* pass = NULL;
7.
8. // Informacion de nuestro servidor
9. const char* host = "192.168.4.1"; //Direccion IP de nuestro servidor
10. String macID;
11.
12. // Variables ocupadas para la solicitud
13. int value1;
14. int value2;
15.
16. int pinDHT11 = 2; // Pin GPIO2 para la lectura del DHT11
17. SimpleDHT11 dht11;
18.
19. void setup() {
20.     Serial.begin(9600);
21.     Serial.println();
22.
23.     uint8_t mac[WL_MAC_ADDR_LENGTH];
24.     WiFi.softAPmacAddress(mac); // Se extrae la dirección MAC del
   módulo
25.     macID = String(mac[WL_MAC_ADDR_LENGTH - 2],
   HEX) + String(mac[WL_MAC_ADDR_LENGTH - 1], HEX);
26.     Serial.print(macID);
27.
28.     Serial.printf("Conectando a %s ", ssid);
29.     WiFi.mode(WIFI_STA); // Se declara el modulo como cliente
30.
31.     WiFi.begin(ssid, pass); // Iniciar comunicacion wifi
32.
33.     while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
34.         delay(500);
35.         Serial.print(".");
36.     }
37.     Serial.println(" Conectado king :)");
38.     Serial.println(WiFi.localIP());
39. }

```

```

40.
41. void loop() {
42.     delay(1000);
43.     byte temperature = 0;
44.     byte humidity = 0;
45.
46.     if (dht11.read(pinDHT11, &temperature, &humidity, NULL)) {
47.         Serial.print("Fallo lectura de sensor.");
48.         return;
49.     }
50.
51.     value1 = (int)temperature;
52.     value2 = (int)humidity;
53.     Serial.print(value1); Serial.println("°C");
54.     Serial.print(value2); Serial.println("%");
55.
56.     WiFiClient client;
57.
58.     Serial.printf("\n[Conectando a %s ... ", host);
59.     //Intentamos conectarnos
60.
61.     if (client.connect(host, 80)) {
62.         Serial.println("conectado :)]");
63.
64.         // Construccion de la solicitud
65.         String url = macID;
66.         url += "&value1=";
67.         url += value1; // Valor de temperatura
68.         url += "&value2=";
69.         url += value2; // Valor de humedad
70.
71.         Serial.print("Solicitando URL: ");
72.         Serial.println(url);
73.
74.         Serial.println("[Enviando peticion]");
75.         client.print(String("GET /") + url + " / HTTP/1.1\r\n");
76.
77.         Serial.println("[Respuesta:]");
78.         //Mientras la conexion perdure
79.         while (client.connected()) {
80.             if (client.available()) {
81.                 String line = client.readStringUntil('\n');
82.                 Serial.println(line);
83.             }
84.         }
85.         // Una vez el servidor envia todos los datos, se desconecta
86.         client.stop();
87.         Serial.println("\n[Desconectado]");
88.     }
89.     else {
90.         Serial.println("Conexion Fallida");
91.         client.stop();
92.     }
93.     // Esto se repite cada 4.9s
94.     delay(4900);
95. }

```

9.4.2 Código para el servidor

```
1. include <ESP8266WiFi.h>
2.
3. // Declaracion e inicializacion de variables utilizadas para realizar
   la conexion a la red Wifi local
4. const char* ssid = "no_hay_wifi"; //SSID de la red Wifi creada
5. const char* pass = NULL; //Contraseña WPA, WPA2 o WEP
6.
7. int tmp_dis1, tmp_dis2;
8. int hmd_dis1, hmd_dis2;
9. int conteo=0, nMediciones=0;
10. float Vrms, Irms1, Irms2, Pe, EER=0.00;
11. float Aa, Va;
12.
13. char data;
14.
15. String value1;
16. String value2;
17. //String solicitud = "";
18.
19. WiFiServer server(80);
20.
21. void setup() {
22.     //Inicializacion del hardware
23.     Serial.begin(9600);
24.     delay(50);
25.
26.     WiFi.mode(WIFI_AP);
27.     WiFi.softAP(ssid, pass);
28.
29.     uint8_t mac[WL_MAC_ADDR_LENGTH];
30.     WiFi.softAPmacAddress(mac);
31.     String macID = String(mac[WL_MAC_ADDR_LENGTH - 2],
   HEX) + String(mac[WL_MAC_ADDR_LENGTH - 1], HEX);
32.     macID.toUpperCase();
33.
34.     Serial.println();
35.     Serial.print("Iniciado AP "); Serial.println(ssid);
36.     Serial.print("IP address: \t"); Serial.println(WiFi.softAPIP());
37.     Serial.print("Direccion MAC: \t"); Serial.println(macID);
38.
39.     server.begin();
40.     Serial.println("Servidor Iniciado");
41.     Serial.println("\nDispositivos conectados");
42. }
43. void loop() {
44.     checkSerialCom();
45.     delay(100);
46.     String s;
47.
48.     WiFiClient client = server.available();
49.     if (!client) {
50.         return;
51.     }
52.     // Lectura de la solicitud
53.     String req = client.readStringUntil('\r');
```

```

54. Serial.println(req);
55.
56. client.flush();
57.
58. int val = -1;
59. if (req.indexOf("/51ce") != -1) {
60.     val = 0;
61.     decoder_values(req);
62.     tmp_dis1 = value1.toInt();
63.     hmd_dis1 = value2.toInt();
64.     delay(50);
65. }
66.
67. else if (req.indexOf("/f548") != -1) {
68.     val = 1;
69.     decoder_values(req);
70.     tmp_dis2 = value1.toInt();
71.     hmd_dis2 = value2.toInt();
72.     delay(50);
73. }
74.
75. //else if (req.indexOf("/menu") != -1) val = -2;
76. else if (req.indexOf("?/var=eer") != -1) val = -2;
77. else if (req.indexOf("?/var=teh") != -1) val = -3;
78. else if (req.indexOf("?/var=pot") != -1) val = -4;
79. else if (req.indexOf("/app") != -1) val = -5;
80. else if (req.indexOf("/datalog") != -1) val = -6;
81. else if (req.indexOf("/consult") != -1) val = -7;
82.
83. // if (val >= 0)
84. //     digitalWrite(LED_PIN, val);
85.
86. client.flush();
87.
88. if (val >= 0) {
89.     s = "tas conectao bro";
90. }
91.
92. else if (val < -1){
93.     // Si nuestro cliente es otro dispositivo
94.     s = "HTTP/1.1 200 OK\r\n";
95.     s += "Content-Type: text/html\r\n\r\n";
96.     s += "<!DOCTYPE HTML>\r\n<html>\r\n";
97.
98.     if (val == -2){
99.         s += "<head><title>";
100.        s += String(EER);
101.        s += "</title>";
102.    }
103.
104.    if (val == -3){
105.        s += "<head><title>";
106.        s += String(tmp_dis1); // temperatura 1
107.        s += "_a";
108.        s += String(hmd_dis1); // humedad 1
109.        s += "_b";
110.        s += String(tmp_dis2); // temperatura 2

```

```

111.     s += "_c";
112.     s += String(hmd_dis2);
113.     s += "</title>";
114. }
115.
116. if (val == -4){
117.     s += "<head><title>";
118.     s += String(Vrms);
119.     s += "_a";
120.     s += String(Irms1);
121.     s += "_b";
122.     s += String(Irms2);
123.     s += "_c";
124.     s += String(Pe);
125.     s += "</title>";
126. }
127.
128. if (val == -5){
129.     s += "<head><title>";
130.     s += req;
131.     s += "</title>";
132.     //solicitud = req;
133. }
134.
135. if (val == -6){
136.     s += "<head><title>";
137.     s += req;
138.     s += "</title>";
139.     //solicitud = req;
140. }
141.
142. if(val == -7){
143.     s += "<head><title>";
144.     s += String(conteo); // conteo
145.     s += "_a";
146.     s += String(nMediciones); // numero de mediciones
147.     s += "</title>";
148.     //solicitud = req;
149. }
150. }
151. else {
152.     s += "Invalid Request.<br>";
153. }
154.
155. s += "</html>\n";
156.
157. client.print(s);
158. delay(1);
159. }
160.
161. void checkSerialCom(){
162.     String t;
163.     if(Serial.available()){
164.         while(Serial.available() > 0){
165.             data = (char)Serial.read();
166.             t += data;
167.         }

```

```

168.
169.     int valor = -1;
170.
171.     if(t.indexOf("volt") != -1){
172.         valor = 0;
173.         decoder_values2(t, "volt=" , "&"); Vrms= value1.toFloat();
174.         delay(100);
175.         decoder_values2(t, "cor1=", "&"); Irms1 = value1.toFloat();
176.         delay(100);
177.         decoder_values2(t, "cor2=", "&"); Irms2 = value1.toFloat();
178.         delay(100);
179.         decoder_values2(t, "pote=", "&"); Pe = value1.toFloat();
180.         delay(100);
181.         decoder_values2(t, "eer=", "&"); EER = value1.toFloat();
182.         delay(100);
183.         decoder_values2(t, "cont=", "&"); conteo = value1.toFloat();
184.         delay(100);
185.         decoder_values2(t, "nmed=", "/"); nMediciones = value1.toFloa
            t();
186.         delay(100);
187.     }
188.     //Serial.println(solicitud); delay(105);
189. }
190. }
191.
192. void decoder_values(String _req)  {
193.     int Start1 = _req.indexOf("=");
194.     int Finish1 = _req.indexOf('&', Start1 + 1);
195.     int Start2 = _req.indexOf("=", Finish1 + 1);
196.     int Finish2 = _req.indexOf("/", Start2 + 1);
197.
198.     value1 = "";
199.     value2 = "";
200.
201.     for (int i = Start1 + 1; i < Finish1; i++)  {
202.         value1 = value1 + _req.charAt(i);
203.     }
204.     for (int i = Start2 + 1; i < Finish2; i++)  {
205.         value2 = value2 + _req.charAt(i);
206.     }
207. }
208.
209. void decoder_values2(String _req, String _Start, String _Finish)  {
210.     int Start1 = _req.indexOf(_Start);
211.     int Finish1 = _req.indexOf(_Finish, Start1 + _Start.length());
212.
213.     value1 = "";
214.
215.     for (int i = Start1 + _Start.length(); i < Finish1; i++)  {
216.         value1 = value1 + _req.charAt(i);
217.     }
218. }

```

9.5 Realización de una Aplicación Móvil para Android con AppInventor

La plataforma AppInventor es un entorno que funciona con conexión a Internet, cuyos cambios al proyecto en que se encuentre trabajando, se guardan en tiempo real.

Para comenzar a trabajar en AppInventor, primero se ingresa a la página de appinventor.mit.edu:

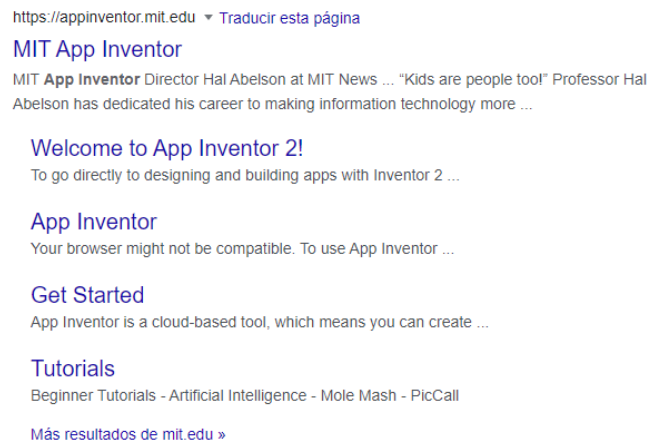


Figura A.6 Búsqueda de la página de AppInventor

Una vez dentro de la página, se procede a hacer clic en el botón de Create Apps.

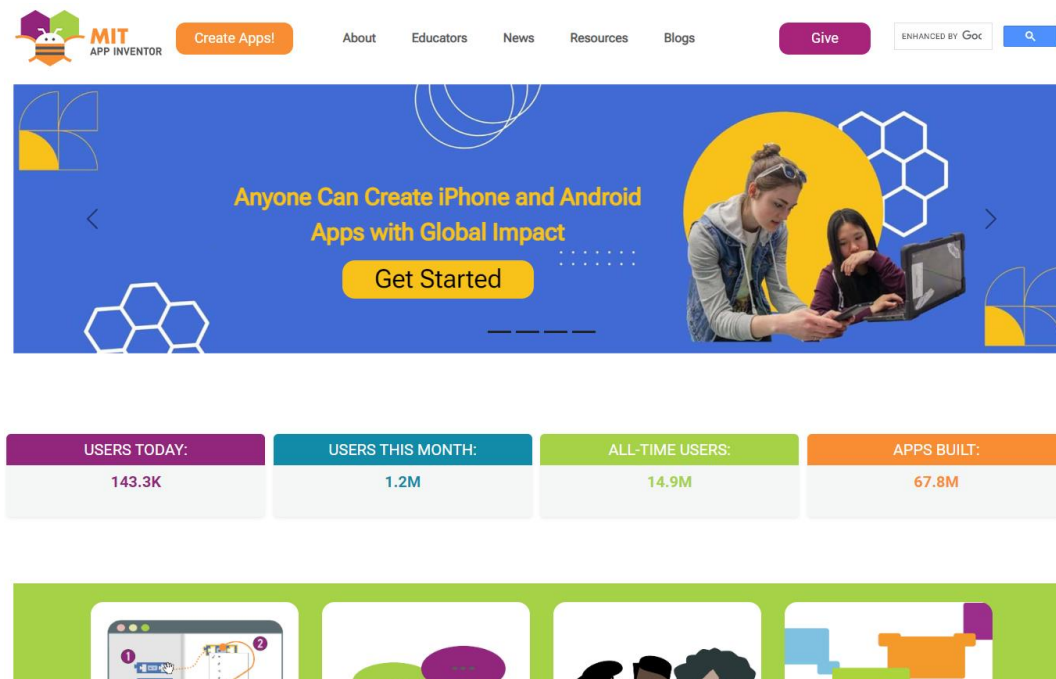


Figura A.7 Página principal de AppInventor

AppInventor almacena todos los proyectos y cambios realizados a estos por medio de una cuenta de Google, entonces en caso de no tener una cuenta, se procede a crear una.

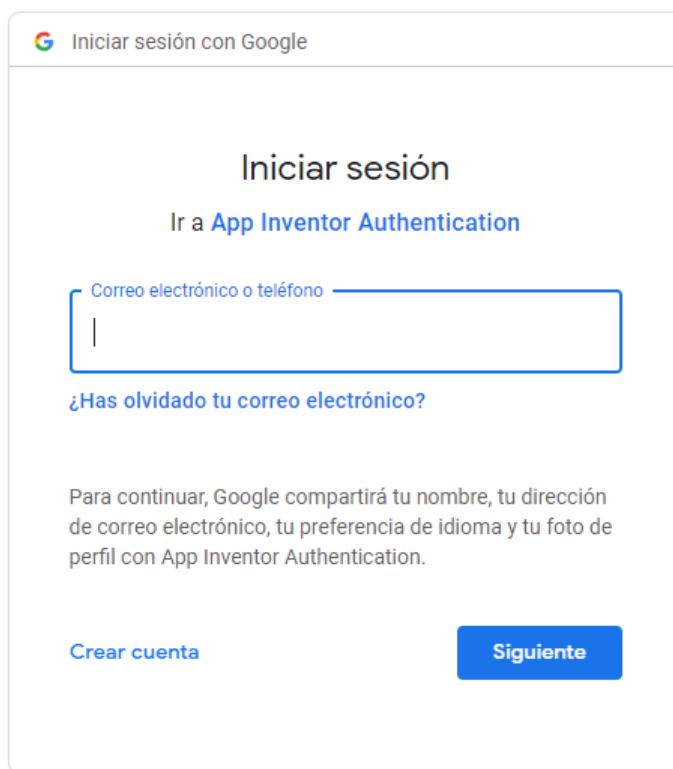
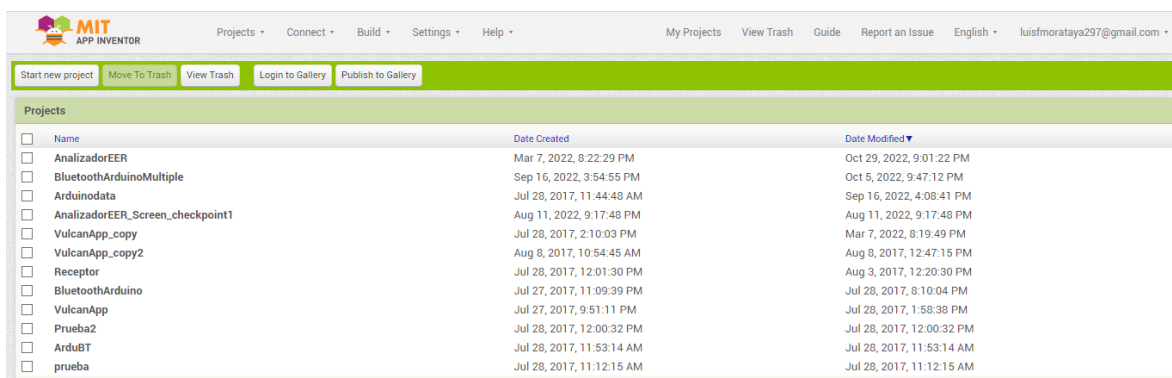


Figura A.8 Ventana de introducción de usuario

Una vez creada la cuenta, ya es posible ingresar al entorno de desarrollo de App Inventor, en la siguiente figura se muestra una lista con todos los proyectos creados.



<input type="checkbox"/>	Name	Date Created	Date Modified
<input type="checkbox"/>	AnalizadorEER	Mar 7, 2022, 8:22:29 PM	Oct 29, 2022, 9:01:22 PM
<input type="checkbox"/>	BluetoothArduinoMultiple	Sep 16, 2022, 3:54:55 PM	Oct 5, 2022, 9:47:12 PM
<input type="checkbox"/>	Arduinodata	Jul 28, 2017, 11:44:48 AM	Sep 16, 2022, 4:08:41 PM
<input type="checkbox"/>	AnalizadorEER_Screen_checkpoint1	Aug 11, 2022, 9:17:48 PM	Aug 11, 2022, 9:17:48 PM
<input type="checkbox"/>	VulcanApp_copy	Jul 28, 2017, 2:10:03 PM	Mar 7, 2022, 8:19:49 PM
<input type="checkbox"/>	VulcanApp_copy2	Aug 8, 2017, 10:54:45 AM	Aug 8, 2017, 12:47:15 PM
<input type="checkbox"/>	Receptor	Jul 28, 2017, 12:01:30 PM	Aug 3, 2017, 12:20:30 PM
<input type="checkbox"/>	BluetoothArduino	Jul 27, 2017, 11:09:39 PM	Jul 28, 2017, 8:10:04 PM
<input type="checkbox"/>	VulcanApp	Jul 27, 2017, 9:51:11 PM	Jul 28, 2017, 1:58:38 PM
<input type="checkbox"/>	Prueba2	Jul 28, 2017, 12:00:32 PM	Jul 28, 2017, 12:00:32 PM
<input type="checkbox"/>	ArduBT	Jul 28, 2017, 11:53:14 AM	Jul 28, 2017, 11:53:14 AM
<input type="checkbox"/>	prueba	Jul 28, 2017, 11:12:15 AM	Jul 28, 2017, 11:12:15 AM

Figura A.9 Lista de proyectos creados

A continuación se muestra una ventana con la vista del entorno de diseño visual para la aplicación que se esté trabajando. En este apartado es donde se colocan los elementos visuales para que nuestra aplicación posea el aspecto que se desee.

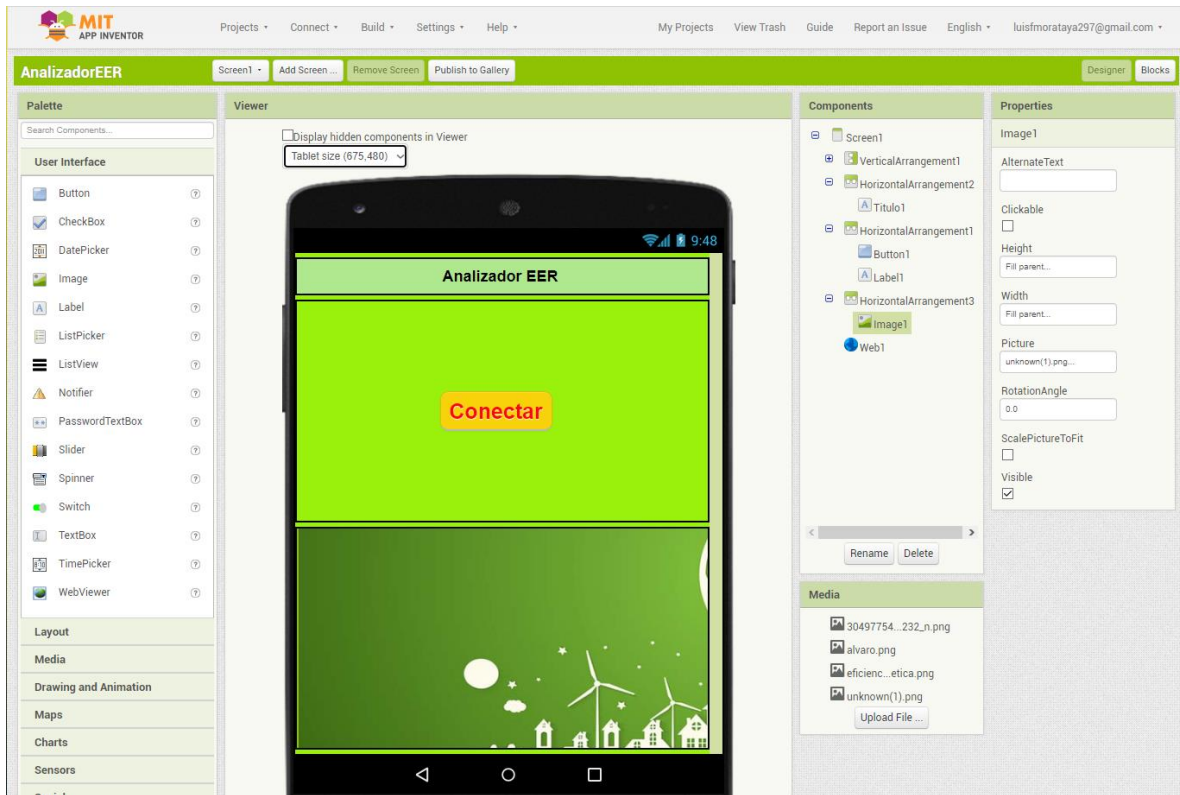


Figura A.10 Interfaz de desarrollo visual de App Inventor

Para cada elemento introducido en la interfaz gráfica de la aplicación, es posible asignarle una serie de instrucciones por medio de un entorno de programación por bloques. Tal y como se suele trabajar en la programación convencional, con funciones aritmético-lógicas y funciones especiales para cada tipo de evento ocurrido en un elemento de interfaz.

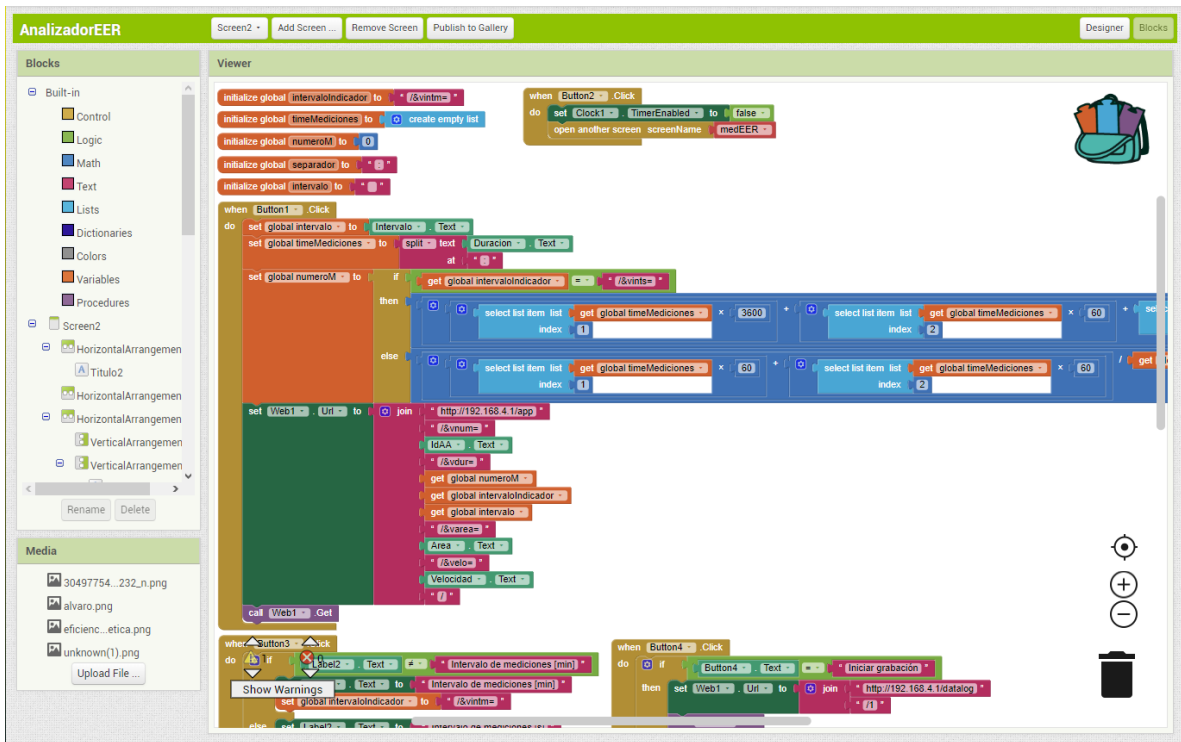


Figura A.11 Entorno de programación por bloques de AppInventor

9.6 Conexión de la Aplicación móvil con la red WiFi local

Para poder establecer comunicación con el Analizador EER, se necesita que éste se encuentre encendido, luego se procede a ir a la barra de notificaciones del dispositivo móvil.

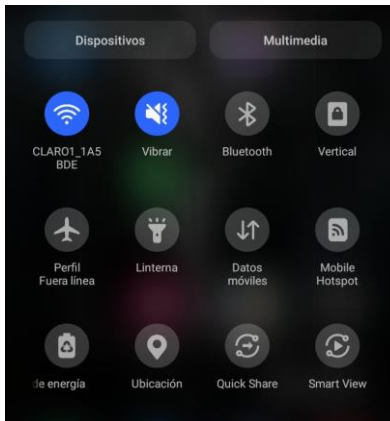


Figura A.12 Barra de notificaciones del dispositivo móvil.

Luego se selecciona la opción de WiFi, a continuación se procede a buscar que la red WiFi que genera el Analizador EER se encuentre activa. En este caso, la red que se genera se llama “no_hay_wifi”, entonces procedemos a conectarnos a dicha red.

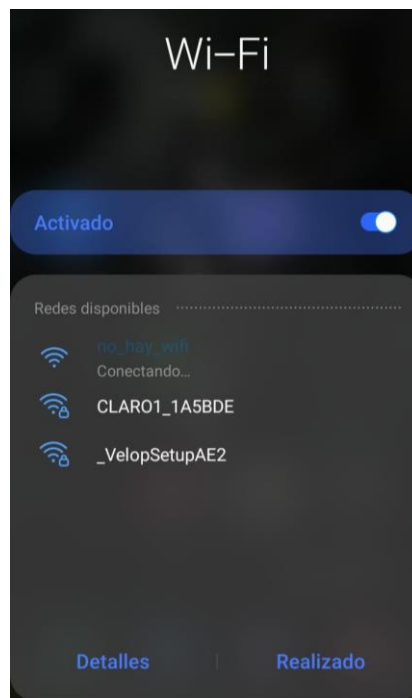


Figura A.13 Búsqueda de redes WiFi

Finalmente, una vez conectado a la red WiFi del Analizador, es posible observar que la conexión es Sin Internet, esto es normal, puesto que el Analizador no se conecta a ninguna otra red WiFi como intermediario.



Figura A.14 Dispositivo móvil conectado a la red WiFi del Analizador EER

9.7 Modificaciones del Analizador EER antes del diseño actual

Como antecedentes del proyecto realizado, el Analizador EER pasó por diferentes modificaciones en su diseño antes de su actual puesta en marcha.

Primeramente por un prototipo que tomaba las mediciones de temperatura y humedad conectando directamente sensores DHT11 a los pines digitales de un Arduino UNO. Un diseño el cual en principio tomaba mediciones de forma satisfactoria, sin embargo solo podía ser de forma alámbrica lo cual resultaba ser un poco engorroso si se deseaba extrapolar su aplicación a equipos de AA de tipo Split, cuyo diseño consiste en una alimentación de sus componentes de forma más alejada a comparación de equipos de AA de tipo Ventana.



Figura A.15. Diseño inicial del Analizador EER. Fotografía de la Figura 22 en [2].

Nótese de la Figura A.7 que la medición de los parámetros de Humedad y temperatura era realizado conectando los sensores al Analizador y luego extender desde ellos hacia los elementos de entrada y salida del equipo de AA en cuestión.

Luego, como parte de un proyecto de ingeniería, se propuso implementar una mejora al diseño de dicho Analizador, llevando a cabo la medición de la temperatura y humedad de forma remota. El diseño se basó principalmente en la medición de temperatura y humedad por medio de conexión WiFi. El resultado obtenido fue el siguiente.

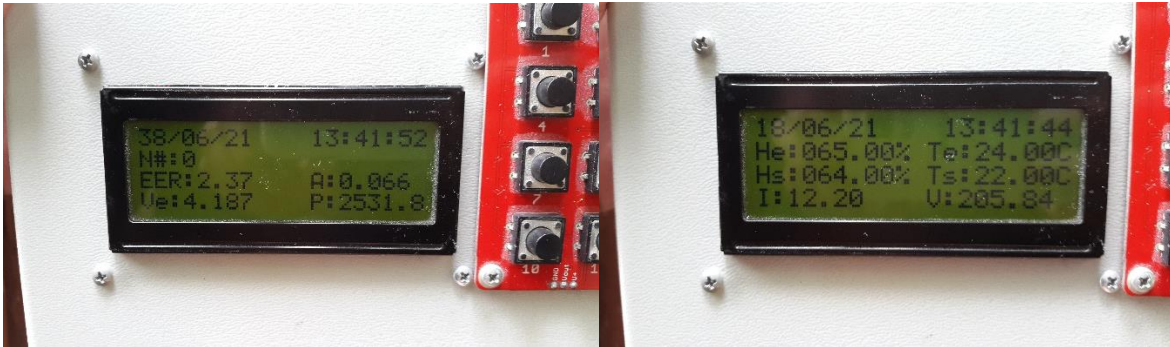


Figura A.16 Funcionamiento del Analizador EER mejorado con el AA del Laboratorio de Telemática. Apartado 6.2 de [4].

Las mediciones de forma inalámbrica se realizaban de forma exitosa, sin embargo los problemas que tenían, eran los siguientes:

- Incapacidad del Analizador mejorado de almacenar información por medio de tarjeta SD, función la cual sí podía realizar el primer diseño del Analizador.
- Alimentación del equipo solamente de forma inalámbrica con un adaptador de corriente DC para que tanto el analizador como los módulos sensores de temperatura, que si bien es cierto se conectaban por WiFi al Analizador EER, tenían que ser alimentados por medio de una fuente conectada al suministro eléctrico.
- En mención a lo anterior, no se había cubierto el dimensionamiento de baterías para el diseño de los módulos sensores.

Por último, para el inicio de este proyecto, antes de proceder con la etapa de mediciones, que era lo principal, se comenzó con una etapa de corrección de errores en base a la mejora aplicada inicialmente al analizador.

9.7.1 Reemplazo del Arduino que controlaba los componentes del Analizador EER

Primeramente, se comenzó con el reemplazo del Arduino UNO que controlaba las operaciones del analizador a un Arduino Leonardo. Esto fue realizado con el objetivo de hacer posible que el Analizador pudiera almacenar la información medida por medio de una

tarjeta SD. Esto se hizo así ya que el Arduino UNO, al hacer uso de un controlador ATmega para convertir de conexión USB a Serial, este mantiene ocupado el puerto Serial del Arduino UNO, el cual se necesitaba estuviera disponible exclusivamente para el módulo WiFi, que utilizaba dicho protocolo de comunicación Serial. El uso de las librerías SoftwareSerial y AltSoftserial, hacían uso de interrupciones para poder llevar a cabo ese tipo de conexión Serial emulada, cosa la cual desconectaba las demás instancias de I2C y SPI haciendo que dejaran de recibir información y, por ende, el equipo quedara congelado y ya no continuaba con la comunicación de las demás instancias.

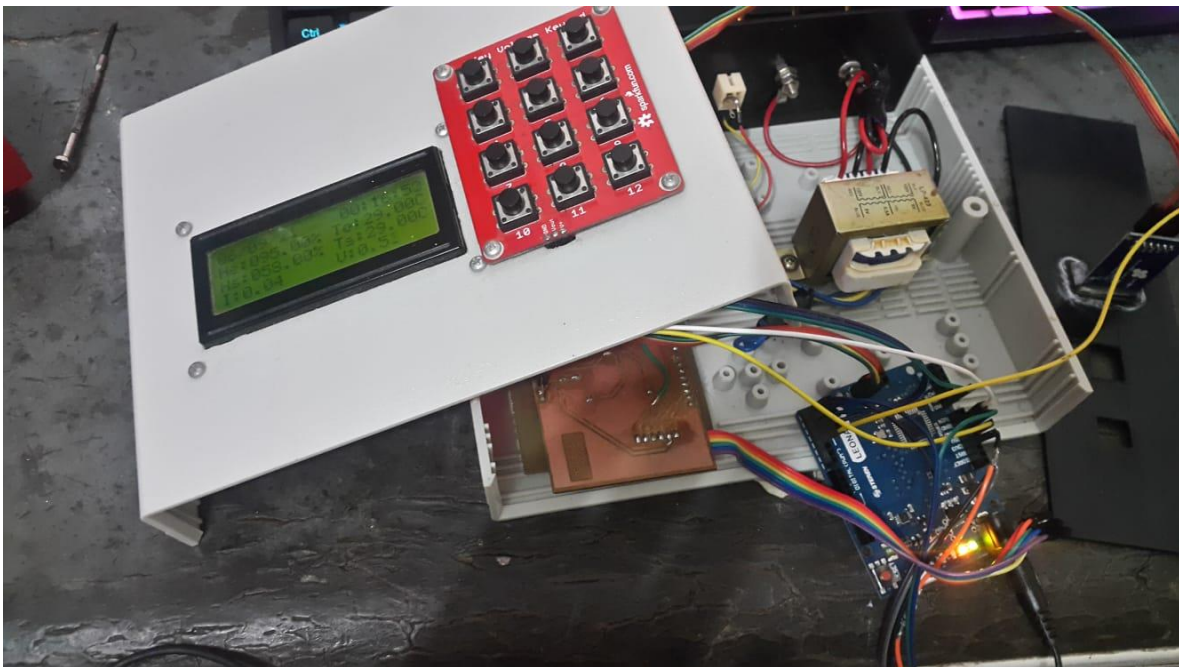


Figura A.17 Prueba del Analizador EER, con el programa principal migrado hacia el Arduino Leonardo.

El Arduino Leonardo, es una placa la cual funciona con las mismas prestaciones que el Arduino UNO, con la diferencia de que el procesador tipo ATmega que utiliza el Leonardo es capaz de establecer comunicación directamente via USB, un aspecto el cual permite que los pines de comunicación Serial queden disponibles para cualquier instancia la cual necesite ser declarada por medio de dicho protocolo.

Con este reemplazo, y migración del programa principal desde la tarjeta UNO hacia la tarjeta Leonardo, fue posible garantizar el almacenamiento de la información medida por medio de la tarjeta SD.

9.7.2 Gabinete para los módulos sensores

Luego se fue necesario proceder con la compactación de los módulos sensores, pasarlos del funcionamiento a fuente y conexión por protoboard, a un diseño más sólido, mecanizando un chasis y conexión por circuito impreso.



Figura A.18 Prueba de los módulos sensores con el nuevo diseño.

9.7.3 Funcionamiento del Analizador EER con baterías

Con respecto al dimensionamiento de las baterías, se había realizado una medición de la corriente que consumen los módulos sensores, y se observó que logran demandar una corriente de 100mA aproximadamente. Entonces, en base a un estimado del tiempo de funcionamiento del equipo para una sesión de medición del Analizador EER, se decidió hacer uso de una batería de 200mAh como mínimo para los módulos sensores, y una batería de 1000mAh para el Analizador EER.

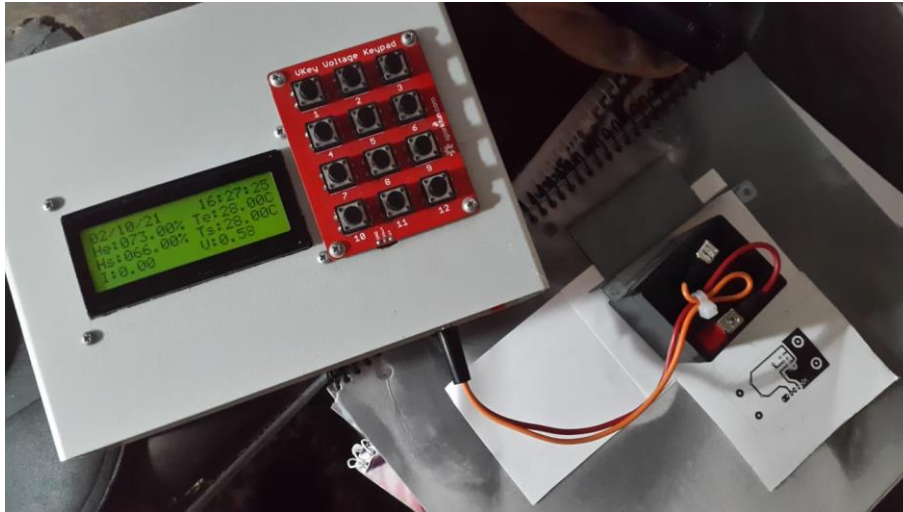


Figura A.19 Prueba del Analizador EER con batería.

9.7.4 Reguladores de baja caída de voltaje

Los reguladores de voltaje utilizados convencionalmente, tales como el LM7805, LM7812 o el LM317, demandan una tensión de 2-3V aproximadamente para su funcionamiento. Un factor que, sumado a la tensión que demandaban los módulos sensores para su funcionamiento, terminaba en que la fuente utilizada no lograba poner en marcha los módulos sensores, se había utilizado una batería de 9V 6F22M, incluso el adaptador de corriente de 12V DC, y se presentaba ese problema de no recibir el voltaje necesario para poder arrancar los módulos sensores.

Si se conectaban directamente baterías de bajo voltaje, (Ión-Litio, NiMH, o AA), podría llegarse a dañar los módulos sensores debido a que el módulo WiFi funciona dentro del rango de voltajes de 3.0 a 3.6V.

La opción idónea de diseño para la alimentación de las baterías hubiera sido hacer uso de cualquier tipo de batería de bajo voltaje, ya sea Ión-Litio (3.7V), NiMH (3.6V), o 3 baterías AA conectadas en serie (4.5V), pero haciendo uso de un regulador de baja caída de voltaje (Low Dropout Voltage, LDO, en inglés), para poder regular el voltaje de alimentación a 3.3V, puesto que los sensores ESP8266 suelen tener anomalías en su funcionamiento para cuando tienen variaciones en el voltaje que se les alimenta, el utilizar baterías de mayores dimensiones para los módulos sensores hubiera supuesto un diseño más pesado y aparatoso

para unos sensores los cuales deben tener un diseño ligero para el entorno donde se encontrarán trabajando.



Figura A.20. AMS1117, regulador LDO de 3.3V.

9.7.5 Baterías utilizadas

Por último, para los módulos sensores se utilizaron baterías de NiMH de 3.6V a 400mAh y para el Analizador EER se utilizó una batería de Plomo ácido de 6V a 1000mAh.



Figura A.21 Módulos sensores con el nuevo diseño de baterías utilizado

Del nuevo diseño con las baterías utilizadas en el proyecto, se puede estimar por medio de la práctica que la duración promedio de las baterías es la siguiente:

Batería	Duración	Tiempo de carga
Analizador	2.75h	2h
Módulos	4h	2h

Tabla A.3 Duración promedio de las baterías.