

**DISEÑO DE UN DISPOSITIVO ELECTRÓNICO
PATRÓN PARA LA CALIBRACIÓN EN SITIO DE
MEDIDORES RESIDENCIALES.**



**Universidad
del Cauca**

**PABLO CÉSAR TAFURT RUIZ
YORBEL DANIERO ARIZA DELGADO**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA INSTRUMENTACIÓN
Y CONTROL
POPAYÁN
2015**

**DISEÑO DE UN DISPOSITIVO ELECTRÓNICO
PATRÓN PARA LA CALIBRACIÓN EN SITIO DE
MEDIDORES RESIDENCIALES.**



**Universidad
del Cauca**

**PABLO CÉSAR TAFURT RUIZ
YORBEL DANIERO ARIZA DELGADO**

Trabajo de grado para optar
al Título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones

Director
PhD. Carlos Felipe Rengifo Rodas

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA INSTRUMENTACIÓN
Y CONTROL
POPAYÁN
2015**

Índice general

Lista de figuras	VI
Lista de tablas	VIII
Estado del arte	X
Estado del arte	XII
1. Marco Teórico	1
1.1. La señal de corriente alterna	1
1.2. Potencia eléctrica	2
1.2.1. Potencia en corriente continua	2
1.2.2. Potencia en corriente alterna	2
1.3. Error en mediciones de A.C.	3
1.3.1. Distorsión armónica	3
1.4. Medidores de energía	3
1.4.1. Clasificación	4
1.4.1.1. Según el principio de funcionamiento	5
1.4.1.2. Según la energía que miden	5

1.4.1.3.	Según la exactitud	5
1.4.1.4.	Según su construcción	6
1.4.1.5.	Según su conexión a la red	7
1.4.2.	Rangos de medida	7
1.5.	El medidor patrón	7
1.6.	Verificación en sitio	8
2.	Captura y análisis de requerimientos	10
2.1.	Requerimientos generales	10
2.2.	Requisitos mecánicos	11
2.3.	Requisitos electrónicos y eléctricos	11
3.	Selección de componentes y solución electrónica	20
3.1.	Plano de captura y medición	22
3.2.	Plano de procesamiento de señales	23
3.3.	Plano de usuario	24
3.4.	Plano de alimentación	24
3.5.	Selección de la solución electrónica definitiva	26
3.5.1.	Construcción del espacio morfológico	27
3.5.1.1.	Cabezas lectoras fotoeléctricas	29
3.5.1.2.	Sondas ópticas	30
3.5.1.3.	Integrados ADE 77XX	31
3.5.1.4.	Integrados ADE 78XX	32
3.5.1.5.	Microcontroladores	33

3.5.1.6.	Módulo bluetooth	35
3.5.1.7.	Dispositivos de alimentación	36
3.5.2.	Reducción del espacio morfológico	37
3.5.3.	Solución electrónica definitiva	40
4.	Descripción de los componentes electrónicos	42
4.1.	Circuito integrado de medición de energía	42
4.1.1.	Descripción de los pines	43
4.1.2.	Adaptación de los canales de voltaje y de corriente	47
4.1.2.1.	Adaptación del canal de corriente	48
4.1.2.2.	Adaptación del canal de voltaje	56
4.2.	Microcontrolador PIC 18f4550	56
4.3.	Dispositivos de alimentación	57
4.4.	Módulo bluetooth HC 05	61
4.5.	Sonda óptica KMK 116	62
5.	Interconexión de componentes	64
5.1.	Adaptación del canal de corriente y de voltaje ADE 7754	64
5.1.1.	Canal de corriente	64
5.1.2.	Canal de voltaje	66
5.2.	Puerto USB	66
5.3.	Módulo bluetooth	68
5.4.	Conexión del ADE 7754 al PIC 18F4550	70
5.5.	Integración de los componentes	71

6. Estructura mecánica del medidor patrón.	78
7. Conclusiones y trabajos futuros	89
7.1. Conclusiones	89
7.2. Trabajos futuros	90

Índice de figuras

2.1. Declaración de actores en UeXceler.	13
2.2. Objetivos en UeXceler.	14
3.1. Diagrama de bloques.	20
3.2. Componentes del sistema.	26
3.3. Componentes opcionales.	28
3.4. Solución definitiva.	40
3.5. Diagrama de bloques de las conexiones del sistema.	41
4.1. Pines del ADE 7754.	43
4.2. Sensor con bobina Rogowsky.	50
4.3. Medidor de energía con bobinas Rogowsky.	54
4.4. Pines del PIC18F4550.	57
4.5. Pico UPS 100.	58
4.6. Transformador AC/DC LS01 - 15B15SS.	59
4.7. Transformador de energía CPT-C5.	60
4.8. Módulo bluetooth HC-05.	61
4.9. Sonda óptica REDZ KMK 116.	63

5.1. Canal de corriente.	65
5.2. Canal de voltaje.	66
5.3. Conexión USB.	67
5.4. Conexión bluetooth.	69
5.5. Transferencia de datos protocolo SPI.	70
5.6. Conexión entre el ADE y PIC.	71
5.7. Conexión de todos los componentes del sistema.	73
6.1. Nomenclatura de la norma IP.	79
6.2. Carcasa BOCUBE.	84
6.3. Carcasa BOCUBE, esquema de las conexiones.	84
6.4. Carcasa BOCUBE, conexión de los canales.	85
6.5. Sección de la carcasa BOCUBE.	85
6.6. Instalación PCB en la tapa de la carcasa BOCUBE.	86
6.7. Instalación PCB en la base de la carcasa BOCUBE.	86

Índice de tablas

1.1. Rangos de medida según el tipo de medidor.	7
2.1. Resultados de UeXceler.	19
3.1. Especificaciones cabezas lectoras fotoeléctricas.	30
3.2. Especificaciones sondas ópticas.	31
3.3. Especificaciones integrados ADE 77XX.	32
3.4. Especificaciones integrados ADE 78XX.	33
3.5. Especificaciones microcontroladores.	35
3.6. Especificaciones módulo bluetooth.	36
3.7. Especificaciones dispositivos de alimentación.	36
4.1. Configuración de pines Ade7754.	47
4.2. Comparación de tecnologías de medición de corriente.	52
4.3. Comparación de tecnologías.	56
5.1. Configuración de pines puerto USB.	67
5.2. Configuración de pines modulo bluetooth.	69
5.3. Correspondencia de pines del ADE y PIC con el protocolo SPI.	71
6.1. Nomenclatura, primer dígito norma IEC 60529.	80

6.2. Nomenclatura, segundo dígito norma IEC 60529.	82
7.1. Propuesta de costos y materiales.	91

Introducción

La prestación del servicio de energía ha sido blanco de fuertes debates en Popayán y en todo el Departamento. Los costos para el pago de la misma, las quejas de los ciudadanos, las irregularidades y abusos que según ellos se cometen, además de otras circunstancias controversiales, han marcado el “tire y afloje” entre usuarios y empresa. El gerente de la COMPAÑÍA ENERGÉTICA DE OCCIDENTE S.A.S E.S.P a la cual de ahora en adelante se llamará CEO, explica que la mayor queja se da alrededor de los temas referentes al cambio de medidores.

La Ley 142 de 1994 determina que las empresas definirán en su contrato las características técnicas de los medidores que utilizarán sus clientes. CEO definió que sus usuarios deberán utilizar medidores electrónicos, teniendo en cuenta el desarrollo tecnológico, a fin de garantizar una medida precisa.

Para garantizar el buen funcionamiento y precisión de estos dispositivos es necesario realizar procesos de verificación, mantenimiento y calibración los cuales son llevados a cabo en los laboratorios de la empresa prestadora del servicio CEO, los laboratorios de calibración de medidores son los que determinan, mediante una revisión técnica, si los instrumentos de medida cumplen con lo establecido en la Norma Técnica Colombiana NTC 4052.

El proceso de calibración es un proceso de comparación de la energía registrada por un medidor bajo prueba contra la energía registrada por un equipo patrón, en este proceso se determinan los errores de exactitud que puedan presentar los equipos. La correcta medición de los consumos de usuarios garantiza la adecuada, eficiente y oportuna prestación de los servicios públicos domiciliarios [1].

Actualmente en el mercado nacional se oferta de forma exclusiva un medidor patrón para la verificación en sitio el cual es poco portable, consume mucha energía y presenta

limitaciones a nivel de precisión. Por otro lado, en el mercado internacional se ofertan dispositivos que aunque son de mayor precisión en cuanto a los dispositivos ofertados en el mercado nacional, son de un costo muy elevado y presentan las mismas limitaciones de portabilidad y consumo de energía, lo que hace difícil su adquisición. Estas son las razones que han motivado al desarrollo de un dispositivo electrónico para verificación en sitio.

En el presente trabajo de grado, se lleva a cabo el diseño de un sistema electrónico para verificación en sitio de medidores de energía; partiendo de una contextualización en torno a los medidores de energía. Se presentan los requerimientos metrológicos, eléctricos y electrónicos que debe satisfacer el equipo a desarrollar. Después de que se identifican dichos requerimientos, se especifican los componentes electrónicos capaces de llevar a cabo las tareas que requiere el dispositivo patrón. Como para la selección de dichos componentes existen múltiples posibilidades, se procede a determinar los más viables y competentes. Este proceso esta basado en criterios de exclusión que no son mas que condiciones o parámetros que evitan o descartan la inclusión de otros dispositivos.

Posteriormente y con la selección de los dispositivos electrónicos, se plantea una solución electrónica. En este punto es importante conocer y estudiar cada uno de esos dispositivos con el fin de realizar la interconexión entre cada uno de ellos de forma adecuada. Una vez que es realizada dicha conexión, se obtiene el sistema electrónico.

Finalmente, se realiza una investigación y una selección en referencia al revestimiento, envoltura o simplemente carcasa, que proporciona la debida seguridad al sistema electrónico con base en las normas y estándares nacionales e internacionales correspondientes.

Objetivos

Objetivo general:

Diseñar un dispositivo electrónico patrón para la verificación en sitio de medidores residenciales de consumo de energía eléctrica.

Objetivos específicos:

- Establecer los requerimientos metrológicos y funcionales que debe satisfacer el equipo a diseñar.
- Especificar los componentes e interconexiones del sistema electrónico que realiza la medición de energía eléctrica a partir de señales de corriente y de voltaje.
- Seleccionar un chasis para el sistema electrónico de medida de acuerdo a los criterios del estándar NEMA 250 (IEC 60529).

Capítulo 1

Marco Teórico

En el presente capítulo se contextualiza al lector con unos breves conceptos que son necesarios para comprender el desarrollo del proyecto.

1.1. La señal de corriente alterna

La corriente alterna A.C es la corriente eléctrica en donde la intensidad cambia de dirección continuamente entre un máximo positivo y un máximo negativo. Un ciclo completo incluye una alternancia positiva y una negativa. El numero de ciclos por segundo es la frecuencia (f) y es expresada en unidades de hertz (Hz). La oscilación sinusoidal es la forma de onda mas utilizada en la corriente alterna, debido a que es la forma de onda que brinda las mejores prestaciones en cuanto a la eficiencia en la transmisión de energía [2].

La necesidad de medir una señal de tensión en corriente alterna, tiene por objeto caracterizar de la manera más sencilla su desarrollo en el tiempo, es decir la forma de las funciones del tiempo que representan su amplitud.

A diferencia de lo que sucede en corriente continua, las tensiones y corrientes alternas invierten periódicamente su polaridad y su amplitud instantánea no es constante entre estas inversiones de polaridad [2].

La principal razón del amplio uso de la corriente alterna radica en su cualidad de poder ser transformada con facilidad posibilitando incrementar o disminuir los valores de

tensión de forma fácil, cualidad que es inexistente en la corriente continua.

1.2. Potencia eléctrica

La potencia eléctrica es la capacidad que se tiene para llevar a cabo una tarea o un trabajo, en otras palabras es la razón de transformación, es decir la transferencia de energía por unidad de tiempo, la unidad de medida de la potencia es el vatio o watt [2].

1.2.1. Potencia en corriente continua

Cuando se trata de corriente continua la potencia eléctrica desarrollada en un cierto instante por un dispositivo de dos terminales, es el producto de la diferencia de potencial entre dichos terminales y la intensidad de corriente que pasa a través del dispositivo. Por esta razón la potencia es el producto de la corriente por la tensión. Esto es:

$$P = \frac{dw}{dt} = \frac{dw}{dq} \frac{dq}{dt} = V * I \quad (1.1)$$

Donde w es la energía, I es el valor de la intensidad de corriente y V es el valor instantáneo del voltaje. Si I se expresa en amperios y V en voltios, P estará expresada en watts (vatios).

Cuando el dispositivo es una resistencia de valor R o se puede calcular la resistencia equivalente del dispositivo, la potencia también puede calcularse como:

$$P = R * I^2 = \frac{V^2}{R} \quad (1.2)$$

Algunos de los dispositivos que proporcionan corriente continua son: pilas, baterías y dinamos.

1.2.2. Potencia en corriente alterna

En comparación a la medida de la potencia en corriente continua, en corriente alterna este procedimiento es más tedioso, ya que en este tipo de circuitos se presentan varios efectos

que ocasionados por diferentes componentes tal es el caso de resistencias, capacitores e inductores, los cuales a su vez generan los parámetros conocidos como inductancia, reactancia y capacitancia [2].

Es posible identificar tres tipos de potencias: la potencia activa que es la potencia que verdaderamente consumen los circuitos, y es la que se utiliza para definir la demanda eléctrica, la potencia reactiva que es utilizada para la generación de un campo magnético, esto tan solo para los dispositivos que requieren de un campo electromagnético y por ultimo la potencia aparente que es la resultante de la suma vectorial de la potencia activa y reactiva [2].

1.3. Error en mediciones de A.C.

Al realizar mediciones en A.C. es necesario considerar las siguientes magnitudes de influencia:

1.3.1. Distorsión armónica

La distorsión armónica es uno de los fenómenos mas frecuentes en las redes eléctricas pues afectan de forma significativa la calidad de la energía ya que producen deformaciones en la forma de onda de la señal [3].

La distorsión armónica es el equivalente al ruido eléctrico, son en esencia tensiones y corrientes con frecuencias múltiplos de la frecuencia fundamental, la deformación anteriormente mencionada es producto de la suma de estas componentes a la señal original [4].

1.4. Medidores de energía

A continuación se presentan una serie de definiciones que permiten comprender con mayor detalle el funcionamiento y estructura de los medidores de energía. Se ha seleccionado valiosa información de tal manera que sea posible la comprensión de los diferentes tipos de medidores mediante una estricta clasificación, que va desde el principio de funcionamiento de estos dispositivos hasta la forma en como se conectan a la red. Finalmente se hace una

breve introducción al medidor patrón en donde se puede apreciar el tipo de dispositivo y medida que se espera obtener para llevar a cabo en capítulos posteriores el desarrollo y la implementación de este dispositivo electrónico.

Un medidor de energía es un instrumento o dispositivo que permite el registro de energía que se consume en un predio, los medidores se componen de varios elementos, tanto electrónicos como electromecánicos los cuales en conjunto hacen posible la medición.

De manera general, la función de los medidores radica en calcular la integral en función del tiempo de la potencia activa en un circuito (carga) determinado. Dicha integral equivale a la energía consumida por el circuito durante un intervalo de tiempo (generalmente un mes) [5].

$$E(t) = \int_0^t P(\alpha) d\alpha \quad (1.3)$$

De la ecuación 1.3 se infiere que la energía consumida en un instante de tiempo se suma a la inmediatamente anterior y así sucesivamente, dicha energía consumida está dada por la multiplicación del consumo de potencia durante un intervalo de tiempo en el que se quiera realizar una medición, y así de esta manera se obtiene el valor total de energía consumida durante un periodo de tiempo.

En el laboratorio de La Compañía Energética de Occidente CEO se llevan a cabo los procesos de calibración, estos procesos se efectúan sobre distintos tipos de medidores dentro de los cuales se encuentran: medidores electromecánicos y medidores electrónicos monofásicos, bifásicos y trifásicos, bifilares, trifilares y tetrafilares.

1.4.1. Clasificación

Existen varios tipos de medidores de energía, dentro de los cuales es posible realizar una clasificación de acuerdo a su construcción, tipo de energía que miden, clase de precisión y la conexión a la red eléctrica.

1.4.1.1. Según el principio de funcionamiento

Según el principio de funcionamiento, los medidores se pueden clasificar en dos grupos, medidores electromecánicos o de inducción y medidores electrónicos o estáticos. En los primeros la medición de la corriente esta determinada por el número de revoluciones del disco que actúa en función de la corriente. En los segundos, la corriente y la tensión actúan sobre los dispositivos electrónicos los cuales a su vez producen pulsos de salida que son proporcionales a los vatios hora. Es importante aclarar que los medidores electrónicos son mas precisos que los medidores electromecánicos, razón por la cual en distintos sectores de la ciudad se adelanta el proceso de cambio de medidores [5].

1.4.1.2. Según la energía que miden

Según la energía que miden, los medidores se pueden clasificar en dos grandes grupos, el primero corresponde a los medidores que miden energía activa (kilovatios - hora) y el segundo a los que miden energía reactiva (kilovares - hora) [5].

En el país la facturación del servicio de energía se lleva a cabo teniendo en cuenta la energía activa y reactiva.

1.4.1.3. Según la exactitud

El índice de clase es el número que expresa el límite de error porcentual admisible para todos los valores de corriente entre 0,1 veces la corriente básica y la corriente máxima o entre 0,05 veces la corriente nominal y la corriente máxima con un factor de potencia unitario (y en caso de medidores polifásicos con cargas balanceadas).

Las clases de exactitud consignadas en la NTC 4856, ordenadas de mayor a menor exactitud, son [6]:

- 0,2S, 0,5S, 0,5, 1 y 2 para medidores de energía activa.
- 2 y 3 para medidores de energía reactiva.

Esta clasificación está directamente relacionada con la cantidad de energía consumida por la carga que se desea tarificar. Para los usuarios que demandan una mayor cantidad

de energía es necesario que cuenten con medidores de mayor exactitud, ya que a mayor energía mayor es el número de alteraciones en la tarificación ocasionadas por el error en la medición [6].

De acuerdo al punto de instalación, carga a medir, nivel de tensión, tipo de cliente y otros parámetros, debe utilizarse un medidor de una clase determinada.

El medidor debe cumplir, teniendo en cuenta la clase y según el caso, las siguientes normas:

- NTC 2288 “Equipos de medición de energía eléctrica. Requisitos particulares. Medidores electromecánicos de energía activa (clases 0,5, 1 y 2)”, basada en la norma IEC 62053-11.
- NTC 2147 “Medidores Estáticos de Energía Activa. Especificaciones Metrológicas para clase 0.2S y 0.5S”, basada en la norma IEC 62053-22.
- NTC 4052 “Medidores Estáticos de Energía Activa para corriente alterna (clase 1 y 2)”, basada en la norma IEC 62053-21.
- NTC 4569 “Equipos de medición de energía eléctrica. Requisitos particulares. Medidores estáticos de energía reactiva (Clases 2 y 3)”, basada en la norma IEC 62053-23.

1.4.1.4. Según su construcción

Según la construcción los medidores pueden ser clasificados en cinco grupos, el primero corresponde a los monofásicos bifilares que son usados para acometidas con un solo conductor activo o fase y un conductor no activo o neutro, este es el más frecuente en las instalaciones residenciales. El segundo grupo se refiere a los monofásicos trifilares se utiliza para el registro del consumo de una acometida monofásica de fase partida (120/240 V) donde se tienen dos conductores activos y uno no activo o neutro. El tercer grupo son los medidores bifásicos trifilares estos son utilizados para registrar el consumo de energía de una acometida de baja tensión (B.T) de dos fases y tres hilos, alimentadas de la red de B.T de distribución trifásica tetrafililar. En el cuarto grupo están los medidores trifásicos trifilares los cuales registran el consumo de energía de una acometida trifásica de tres fases sin neutro. Finalmente el último grupo corresponde a los medidores trifásicos tetrafilares, los cuales registran el consumo de una acometida trifásica en B.T. de tres fases y cuatro hilos [5].

1.4.1.5. Según su conexión a la red

De acuerdo con la capacidad instalada existen tres tipos de medición: Directa (se conectan directamente al medidor los conductores de la acometida), Semidirecta (las señales de corriente se toman a través de transformadores de corriente y las señales de voltaje se toman directamente de las líneas de alimentación a la carga) e Indirecta (en donde el medidor de energía no está conectado directamente a los conductores de la acometida sino a bornes de equipos auxiliares de medición, razón por la cual la corriente que pasa a través del medidor es proporcional a la corriente de carga) [5].

1.4.2. Rangos de medida

Servicio	Valores Enteros
Monofásico bifilar 120 V o 127 V	Entre 1 y 3 kVA
Bifásico trifilar 220/ 127 V	Entre 3 y menor a 9 kVA
Trifásico tetrafililar 220/127 V	Entre 9 kVA y menor a 30 kVA
Semidirecta B.T (TC)	Entre 30 kVA y menor a 225 kVA
Indirecta M.T. y A.T (TC y TP)	Igual o superior a 225 kVA

Tabla 1.1: Rangos de medida según el tipo de medidor.

Fuente: http://www.electrificadoradelta.com.co/index.php?option=com_k2&view=item&id=202:norma-de-acometidas-e-instalaciones-eléctricas&Itemid=239

1.5. El medidor patrón

Como su nombre lo indica es un medidor de energía eléctrica que actúa como patrón en la calibración, la exactitud del medidor patrón debe ser superior que la del medidor a calibrar (con base en la NTC 5900 el medidor patrón debe ser de una clase de exactitud de al menos dos veces superior que la del medidor a prueba). El medidor patrón debe contar con un certificado de calibración el cual asegura la trazabilidad de las medidas [7].

1.6. Verificación en sitio

La NTC 5900 “Verificación en sitio de equipos para medición de energía eléctrica”, define la verificación en sitio como la verificación que se realiza a un equipo de medida en su sitio de instalación con el fin de validar sus condiciones de funcionamiento físico y metrológico. En esta norma también se contempla la verificación de los medidores en sitio, en la cual se consideran los factores de influencia que son representativos en la medición según el método utilizado, como la clase de exactitud del medidor patrón y de las condiciones del sitio en el que se encuentre instalado el equipo de medida.

Antes de iniciar el proceso de verificación del equipo de medida se deben garantizar las condiciones de seguridad para el personal en el sitio y se debe asegurar el área de trabajo, aplicando las normas de seguridad y riesgo eléctrico pertinente definidas en la Reglamentación vigente.

Antes o durante la ejecución de la verificación, el procedimiento puede ser interrumpido si las condiciones de seguridad de alguno de los elementos del equipo de medida objeto de la verificación, presente alguna no conformidad que pueda afectar la integridad de las personas, de los equipos a utilizar para la verificación y/o del predio donde se ubica el equipo de medida.

La verificación inicia con una inspección visual que cual consta de dos etapas, en la primera se realiza una revisión minuciosa del estado de los sellos que contiene el medidor, estos son: los sellos de la tapa bornera y de la tapa principal del medidor. En la segunda etapa se realiza una inspección del equipo de medida en donde se verifica el estado de las conexiones y las condiciones físicas y mecánicas de los componentes externos del medidor e internos hasta donde sea posible.

Después de realizar la verificación visual, se procede a seleccionar el método de verificación de los medidores, para esta verificación existen dos métodos, el primero es el de patrón - carga de usuario y el segundo es el de patrón - carga externa.

El primer método debe realizarse conservando las condiciones en que se encuentre la instalación y el equipo de medida, incluso bajo condiciones en la posición del medidor. Haciendo uso del equipo patrón se realiza la verificación del equipo de medida directa con

la carga del usuario, mediante un sensor de corriente.

En el segundo método es aplicable con la utilización de un equipo patrón y una carga externa o fuente de corriente, donde el operario cuenta con la posibilidad de seleccionar dos o mas puntos de prueba.

Tras la selección del método de verificación de los medidores, se debe realizar un ensayo de verificación, existen tres ensayos o pruebas de verificación que son: funcionamiento sin carga, prueba de exactitud y verificación de la constante [8].

Funcionamiento sin carga: para la realización de esta prueba se debe garantizar la total desconexión de la carga del usuario dejando al medidor solo con la tensión de la red, o aplicando tensión generada por una fuente externa. La prueba debe realizarse en un tiempo de 5 minutos. En los medidores electromecánicos se considera que el medidor cumple, cuando se verifique que el disco no contempla una revolución o que el disco se detenga totalmente.

Prueba de exactitud: el ensayo consiste en realizar la verificación del equipo de medida en un único punto de prueba a la corriente presente en el momento realizando tres repeticiones. El resultado debe expresarse como un error relativo en porcentaje por la comparación entre el medidor objeto de verificación y el equipo patrón. La prueba es satisfactoria cuando la medida aritmética de los tres errores registrados en el punto de prueba se encuentra dentro de los valores establecidos, para medidores electrónicos en ± 4 y para medidores electromecánicos en ± 5 .

Verificación de la constante: este ensayo se basa en el método de dosificación de energía establecido en la NTC 4856 “verificación inicial y posterior de medidores de energía eléctrica”, básicamente consiste en aplicar una cantidad de energía conocida al medidor, se calcula la energía registrada por el medidor, mediante la diferencia entre las lecturas final e inicial para así lograr determinar el error porcentual.

En la NTC 5900 y en la NTC 4856 es posible conocer los procedimientos de cada una de estas pruebas.

Capítulo 2

Captura y análisis de requerimientos

Gracias a las reuniones celebradas en las instalaciones de CEO en los meses de abril y mayo de 2015 fue posible ampliar el panorama de la problemática de medidores de energía eléctrica y de la necesidad que existe en relación a la verificación en sitio. En esta reunión se planteó la necesidad de desarrollar un Sistema de Verificación en Sitio Integrado para Medida Directa (SVIMD), este SVIMD consta de un medidor patrón, una fuente, una impresora y un dispositivo móvil que hará posible la visualización de los procedimientos que se efectúan. En el presente trabajo de grado se contempla exclusivamente el desarrollo del medidor patrón como componente fundamental del SVIMD.

Después de finalizada dicha reunión se lograron identificar los requerimientos, estos requerimientos han sido agrupados en tres grupos: requerimientos generales, mecánicos y electrónicos y se presentan a continuación:

2.1. Requerimientos generales

- El medidor patrón debe satisfacer las normatividades referentes a fabricación, calibración y requisitos técnicos además debe permitir ejecutar los procedimientos referente a verificación en sitio para determinar el error porcentual de las mediciones.
- El dispositivo a diseñar debe garantizar una correcta medida de energía, pues la medida de corriente y tensión no garantizan que la energía medida sea la acertada.

- Teniendo en cuenta que los medidores residenciales de la Compañía Energética de Occidente son de clase 1 y clase 2, el medidor patrón a diseñar debe contar con elementos de una clase de exactitud bastante elevada, para que cuando sea implementado la clase de exactitud de este sea de al menos dos veces superior al de los medidores residenciales, es decir que debería garantizar una clase de exactitud 0.5 o superior.

2.2. Requisitos mecánicos

- El dispositivo electrónico patrón debe estar diseñado de tal manera, que evite cualquier riesgo en el uso ordinario bajo condiciones normales de operación, garantizando especialmente: la seguridad personal contra choques eléctricos, contra efectos de temperatura excesiva y la protección contra propagación de fuego y contra penetración de elementos sólidos, polvo y agua.
- El dispositivo electrónico patrón debe protegerse contra desajustes que pudieran invalidar el resultado de la medición, y además debe contar con protección a daños y deterioro durante la manipulación, transporte, mantenimiento y almacenamiento.
- Todas las partes del dispositivo electrónico patrón especialmente las partes sensibles a corrosión, deben estar protegidas efectivamente.
- Cualquier recubrimiento de protección no debe estar expuesto a daño, por condiciones normales de trabajo.

2.3. Requisitos electrónicos y eléctricos

- El medidor patrón debe tener la facultad de ser integrado a una fuente de corriente.
- El dispositivo electrónico patrón debe ser alimentado por la red eléctrica y de este modo solucionar la problemática del consumo excesivo de baterías.
- Debe garantizar lo establecido en la NTC 5226 (IEC 62052), en donde se contemplan, los rangos de influencia en el suministro de voltaje, rangos permisibles en caídas e interrupciones de voltaje y el aislamiento térmico.

- Contar con un modulo bluetooth el cual permita la transmisión de la información recogida durante la verificación a un dispositivo móvil, esto con el fin de evitar el uso de visualizadores LCD los cuales incrementan el costo del equipo y el consumo de energía.
- Proporcionar el porcentaje de error de la medición, siguiendo lo establecido en la NTC 5900 “Verificación en sitio de equipos para medición de energía eléctrica”, esto mediante la comparación de las medidas obtenidas por el medidor de medida directa y el medidor patrón.
- Estar integrado a un sensor fotoeléctrico con la capacidad de captar los pulsos de salida tanto en los medidores estáticos como en los medidores electromecánicos.
- Generar un informe (recibo) que contenga los datos obtenidos durante el procedimiento de verificación para que pueda posteriormente ser enviado a otro de los componentes del Sistema de Verificación Integrado, en este caso la impresora. Es importante aclarar que la impresora no hace parte del diseño del presente trabajo de grado, mas adelante se hará mención de dispositivos (impresoras) que se pueden tener en cuenta para ser parte del SVIMD.

Es claro que en esta sección de requerimientos se hace referencia a la funcionalidad del dispositivo, razón por la cual se ha decidido hacer uso de la herramienta de captura de requerimientos UeXceler de Visual Paradigm para detallar cada uno de estos requerimientos y tener una idea mas clara y concisa acerca de los procedimientos que hay que realizar para satisfacer cada uno de esos requerimientos.

La herramienta para captura de requerimientos UeXceler de Visual Paradigm, que además de permitir la captura de requerimientos, soporta el modelado mediante UML y proporciona asistencia a los desarrolladores durante todo el ciclo de vida del proyecto.

Una vez instalada y adquirida la licencia para poder operar la herramienta se declaran los actores, que en este caso corresponden a las brigadas que efectúan la verificación en sitio, y las funcionalidades que corresponden a lo que se espera debe realizar el dispositivo. Estas funcionalidades son: medir energía proveniente de una fuente, registrar el consumo de un medidor residencial, analizar y comparar las mediciones, enviar la información de las medidas por bluetooth y generar el reporte de la verificación de forma impresa. Finalmente es necesario ingresar la finalidad que se busca con las funcionalidades anteriormente mencionadas. Lo anterior se puede apreciar en la Figura 2.1.

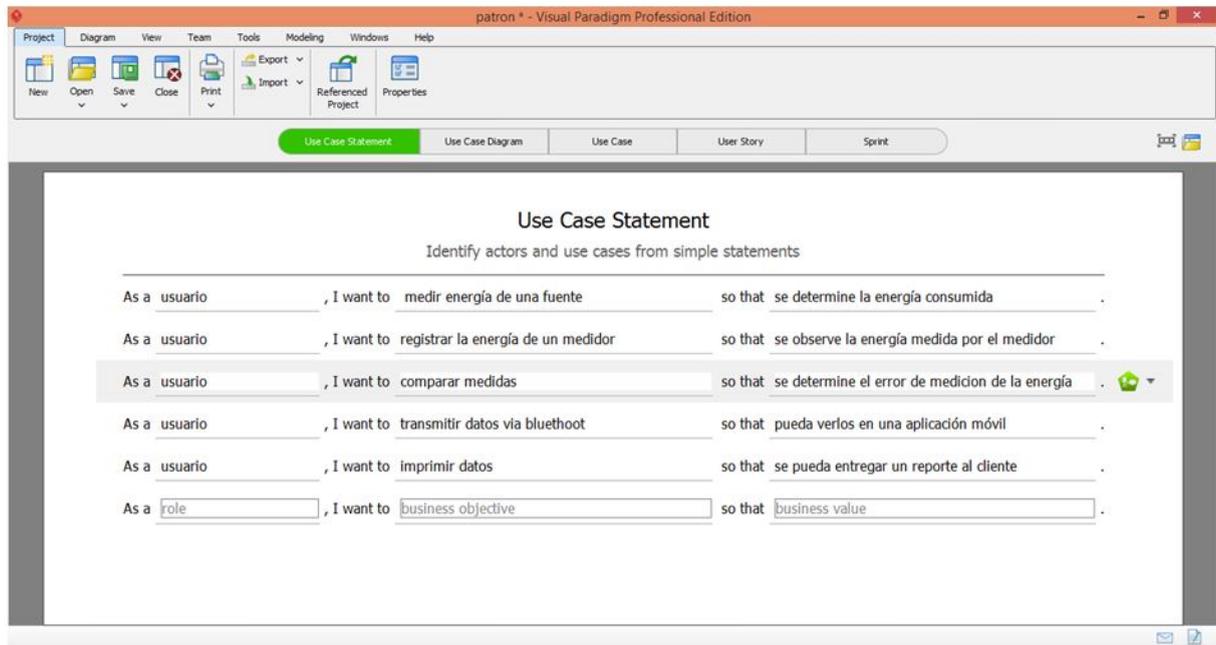


Figura 2.1: Declaración de actores en UeXceler.

Fuente: elaboración propia.

La información que es ingresada se puede apreciar a continuación:

- Como usuario quiero medir energía entregada por una fuente tal que se determine su valor en vatios - hora.
- Como usuario quiero determinar la energía de un medidor tal que pueda ser observado en un dispositivo móvil.
- Como usuario quiero comparar mediciones tal que sea posible determinar el porcentaje de error en la medición.
- Como usuario quiero transmitir datos vía bluetooth tal que puedan ser observados en una aplicación.
- Como usuario quiero imprimir datos tal que se entregue un reporte al cliente.

Esas funcionalidades que desea el usuario son establecidas por la herramienta como requerimientos de primer nivel u objetivos principales, esto se puede apreciar en la Figura 2.2.

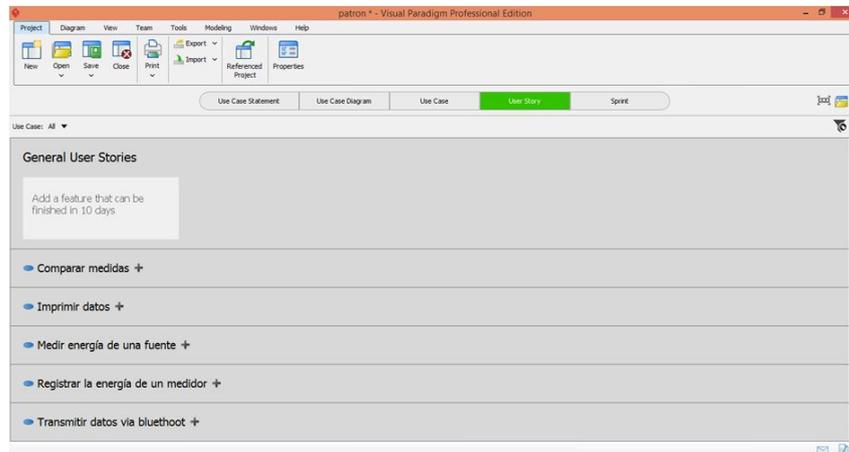


Figura 2.2: Objetivos en UeXceler.

Fuente: elaboración propia.

Los requerimientos de primer nivel proporcionados por la herramienta son:

- Medir energía de una fuente.
- Registrar la medición de un medidor.
- Comparar medidas.
- Transmitir datos vía bluetooth.
- Imprimir datos.

Posteriormente y con ayuda de la herramienta, cada requerimiento se desglosa en requisitos de segundo, tercer y cuarto nivel con el propósito de desarrollar un dispositivo totalmente funcional, partiendo desde las tareas mas fundamentales hasta las mas complejas.

Cada requisito se compone de procedimientos y parámetros que en conjunto dan soporte a la construcción de la solución de los requerimientos de primer nivel u objetivos principales.

En otras palabras, la herramienta permite la jerarquización de tareas y procedimientos, para facilitar el desarrollo del proyecto. En la Tabla 2.1 se describen cada unos de estos requerimientos:

REQUERIMIENTOS			
PRIMER NIVEL	SEGUNDO NIVEL	TERCER NIVEL	CUARTO NIVEL
Medir la energía suministrada por una fuente.	Determinar la energía suministrada por una fuente utilizando un circuito integrado de medición de energía.	<p>Un microcontrolador controla y coordina las tareas del circuito integrado de medición de energía a través de órdenes proporcionadas por el usuario.</p> <p>El circuito integrado de medición de energía debe brindar una medida con porcentaje de error no superior al 0.5%.</p> <p>El circuito integrado de medición de energía envía la señal generada durante la medición a un microcontrolador que se encarga de procesarla y presentarla al operario.</p>	<p>El operario debe realizar la conexión a la fuente a través de los bornes del dispositivo.</p> <p>A través de los bornes el circuito integrado de medición de energía detecta la presencia de señal.</p> <p>El operario debe inicializar la medición mediante una instrucción al dispositivo.</p> <p>El circuito integrado realiza la medición de energía de la fuente y genera una señal que debe enviar al microcontrolador.</p> <p>El operario finaliza el proceso de medición a través de una orden enviada al microcontrolador.</p> <p>El operario obtiene el reporte de la medición de energía.</p>

Continúa en la siguiente página.

REQUERIMIENTOS			
PRIMER NIVEL	SEGUNDO NIVEL	TERCER NIVEL	CUARTO NIVEL
Registrar la medición de energía de un medidor residencial.	Determinar el consumo de energía de un medidor residencial a partir de un sensor fotoeléctrico.	<p>El sensor fotoeléctrico debe ser capaz de contar el número de revoluciones del disco para el caso de los medidores electromecánicos y debe ser capaz de contar el número de parpadeos de un LED para el caso de los medidores electrónicos.</p> <p>El sensor fotoeléctrico envía la señal generada durante la medición a un microcontrolador que se encarga de procesarla y presentarla al operario.</p>	<p>El operario debe ajustar y acondicionar el sensor fotoeléctrico con relación al medidor residencial.</p> <p>El operario debe inicializar el registro de medición del medidor residencial mediante una instrucción al dispositivo.</p> <p>El operario finaliza el proceso de medición a través de una orden enviada al microcontrolador.</p> <p>El operario obtiene el reporte de la medición de energía.</p>

Continua en la siguiente página.

REQUERIMIENTOS			
PRIMER NIVEL	SEGUNDO NIVEL	TERCER NIVEL	CUARTO NIVEL
Analizar y comparar las medidas obtenidas por el medidor patrón y el medidor residencial.	Determinar el porcentaje de error en las mediciones a través de un microcontrolador.	<p>El microcontrolador debe procesar los reportes generados de las mediciones.</p> <p>El microcontrolador debe realizar una comparación entre las mediciones y proporcionar el porcentaje de error de la medición hecha por el medidor residencial respecto al dispositivo patrón.</p>	<p>El operario finaliza el proceso de medición.</p> <p>El microcontrolador procesa los reportes de medición del medidor patrón y residencial.</p> <p>El microcontrolador calcula el porcentaje de error en la medición con base en los reportes procesados.</p> <p>El microcontrolador genera un reporte en donde se consigna el porcentaje de error.</p>

Continúa en la siguiente página.

REQUERIMIENTOS			
PRIMER NIVEL	SEGUNDO NIVEL	TERCER NIVEL	CUARTO NIVEL
Transmitir datos vía bluetooth.	Transmitir los datos obtenidos durante la verificación a través de un módulo bluetooth hacia un dispositivo móvil.	<p>El microcontrolador se encarga coordinar las tareas del módulo bluetooth.</p> <p>El módulo bluetooth se encarga de transmitir los reportes generados.</p>	<p>El operario debe sincronizar el dispositivo móvil con el módulo.</p> <p>El operario ordena la transmisión de los reportes generados vía bluetooth.</p> <p>El microcontrolador envía los reportes hacia el módulo bluetooth.</p> <p>El módulo bluetooth transmite una trama de información hacia el dispositivo móvil.</p>

Continúa en la siguiente página.

REQUERIMIENTOS			
PRIMER NIVEL	SEGUNDO NIVEL	TERCER NIVEL	CUARTO NIVEL
Imprimir datos.	Generar un reporte impreso que contenga los reportes generados durante la verificación.	<p>El microcontrolador coordina la transmisión de datos.</p> <p>El microcontrolador prepara y dispone su interfaz USB para poder realizar la transmisión de datos.</p>	<p>El operario ordena la transmisión de los reportes generados vía USB.</p> <p>El microcontrolador envía los reportes hacia el puerto USB.</p> <p>A través del puerto USB se transmite una trama de información hacia una impresora.</p>

Tabla 2.1: Resultados de UeXceler.

Capítulo 3

Selección de componentes y solución electrónica

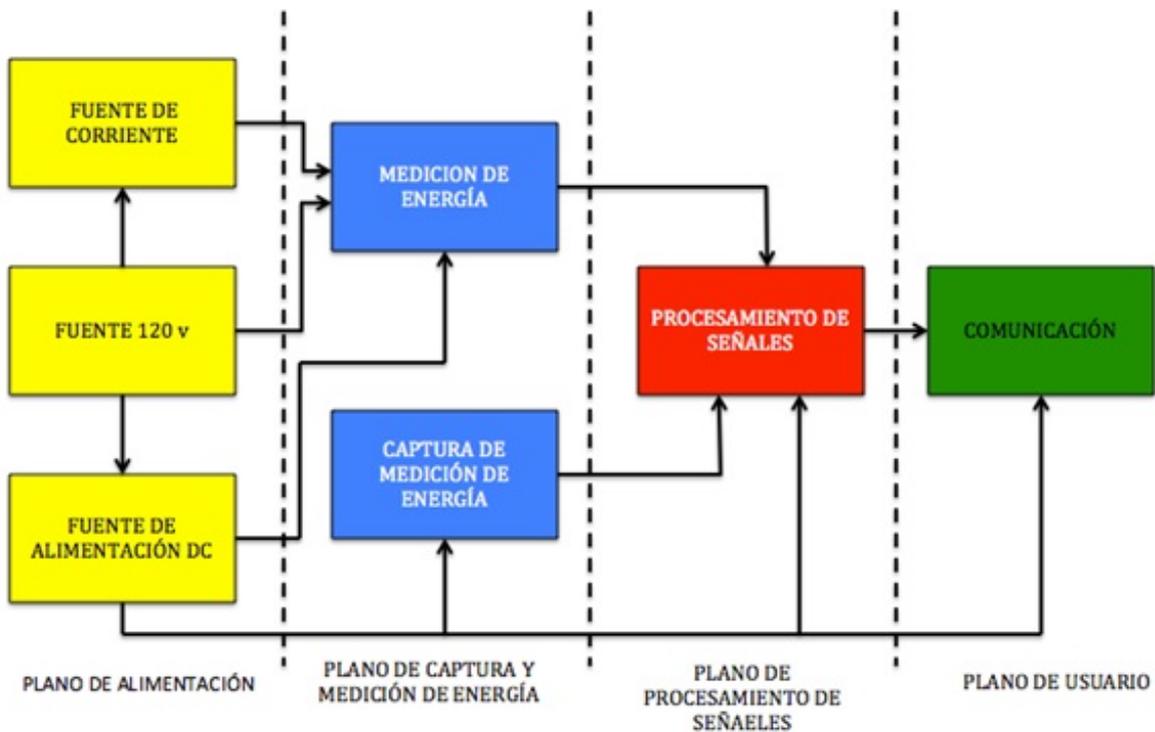


Figura 3.1: Diagrama de bloques.
Fuente: elaboración propia.

La solución electrónica definitiva, se fundamenta con base en cuatro planos, en la Figura 3.1, se puede apreciar de manera general como es la articulación del sistema y la forma

en como cada uno de los planos se relaciona con los otros.

El plano de usuario, cuyo rol es desarrollado por los operarios, es el plano que permite al operario interactuar con el medidor patrón y desde el cual se extraen los datos recopilados durante cada procedimiento. Hay dos momentos en el que el operario debe interactuar con el medidor patrón, en primera instancia el operario realiza dos acciones, primero, debe sincronizar el dispositivo móvil que cuenta con una aplicación previamente instalada, en donde se puede controlar y visualizar el proceso de verificación a demás del comportamiento de los diferentes parámetros, y segundo debe iniciar el proceso de verificación del medidor en ensayo. En segunda instancia el operario interactúa con el medidor en el momento en el que ha finalizado dicho procedimiento, procediendo a la generación de un reporte el cual es enviado a una impresora mediante un puerto USB.

El plano de captura y medición, como su nombre lo indica, es el plano donde se capturan las señales provenientes de la red eléctrica y del medidor en ensayo, la captura es realizada mediante un sensor fotoeléctrico para el medidor en ensayo y por un circuito integrado de medición de energía para la red eléctrica. En el momento en que los dispositivos encargados de medición comienzan a generar datos, estos se envían al plano de procesamiento de señales.

En el plano de procesamiento de las señales se realizan los cálculos pertinentes correspondientes a los procedimientos de ensayo establecidos por la NTC 4856, también se realiza la comparación de las medidas y se proporciona un margen de error a partir de los datos obtenidos con base en la NTC 5900. Además de esto realiza la configuración y adaptación de las señales recibidas por los dispositivos de captura y medición para que puedan ser visualizados en tiempo real en la aplicación móvil. Una vez que se finaliza el procedimiento de verificación, el dispositivo encargado del procesamiento de señales, adapta el resultado de dicho procedimiento y procede a generar un reporte que es enviado mediante el puerto USB a una impresora.

Por otro lado el plano de alimentación, se encarga de suministrar la energía eléctrica necesaria para el correcto funcionamiento de los dispositivos electrónicos que serán parte de la solución electrónica definitiva, también cuenta con un circuito de protección que tiene como propósito limitar la corriente del elemento en serie (o incluso anularla). El plano de alimentación se compone de un circuito de protección y de una fuente de alimentación, esta última convierte la corriente alterna en corriente continua y alimenta los

diferentes circuitos electrónicos del sistema. Para el suministro de energía de los diferentes componentes electrónicos se requiere de una fuente de alimentación de 5 V DC para los dispositivos que operan con voltajes TTL, y una fuente de alimentación de 12 V DC para los componentes que trabajan por encima de ese rango de voltajes. Los circuitos de protección son diseñados para estar inactivos bajo condiciones de operación normal y activarse tan pronto como se intente exceder el correspondiente límite de seguridad, el objetivo del circuito de protección contra sobrecarga es evitar que la corriente que circula exceda un nivel de seguridad predeterminado. Generalmente las variaciones de corriente se originan por fallas en los centros de generación, de distribución o debido a descargas atmosféricas. Es importante tener en cuenta que el dispositivo evite el consumo excesivo de baterías, es por esta razón que el dispositivo electrónico patrón a desarrollar va a ser conectado directamente a la red eléctrica para abastecer al dispositivo de energía lo cual implica el uso de fuentes de alimentación y circuitos de protección.

Como se puede apreciar en la gráfica, cada plano que compone al sistema, cuenta con uno o más dispositivos que se encargan de realizar funciones específicas. Los dispositivos electrónicos que se han contemplado para realizar las funciones en cada plano se presentan a continuación:

3.1. Plano de captura y medición

Sensor fotoeléctrico: es un dispositivo electrónico que cuenta con una entrada capaz de responder al cambio en la intensidad de la luz, es apto para captar la emisión de impulsos de LED, estos sensores incluyen un transductor fotoeléctrico para convertir la luz a una señal eléctrica (señal de salida de estados lógicos digitales). Los dispositivos que se han considerado para realizar dicha labor son:

- Cabeza lectora fotoeléctrica SH 11 marca MTE.
- Cabeza lectora fotoeléctrica SH 2003 marca MTE.
- Cabeza lectora fotoeléctrica SH 2015 marca MTE.
- Sonda óptica RS 232 KMK 111 marca REDZ.
- Sonda óptica USB KMK 116 marca REDZ.

Circuito Integrado de Medición de Energía: este dispositivo permite digitalizar las ondas de tensión y corriente por medio de conversores analógico digital para luego realizar los cálculos correspondientes de energía activa, reactiva y aparente.

El procesamiento digital de las señales permite un cálculo estable y exacto por encima de las variaciones de tiempo y medio ambiente.

Analog Devices cuenta con una gran variedad de dispositivos entre los cuales está la familia ADE, esta familia cuenta con una gama de dispositivos integrados capaces de acoplarse a los distintos tipos de configuraciones de sistemas de medición, ofreciéndole a los diseñadores poder escoger distintos integrados dependiendo del sistema que se desee implementar. La familia ADE se divide en dos grupos, los dispositivos de medición de energía monofásica y polifásica [9].

Para efectos del presente proyecto se contempla el estudio del grupo correspondiente a los medidores polifásicos, que además permiten la configuración en modo monofásico.

Para la selección del dispositivo es importante tener en cuenta las características funcionales de cada uno de ellos, para que de este modo pueda ser seleccionado el dispositivo con mejores prestaciones y más adecuado para el proyecto.

Los dispositivos considerados para llevar a cabo esta función son:

- ADE 7880 marca Analog Devices.
- ADE 7878 marca Analog Devices.
- ADE 7758 marca Analog Devices.
- ADE 7754 marca Analog Devices.

3.2. Plano de procesamiento de señales

Microcontrolador: es un circuito integrado capaz de programar y ejecutar ordenes que se encuentran grabadas dentro de su memoria. En su interior se encuentran las tres unidades

funcionales principales las cuales son CPU, memoria y periféricos de entrada y salida, mediante estas unidades y en conjunto es capaz de realizar una gran variedad de acciones, los microcontroladores se diseñaron para reducir el costo económico y el consumo de energía. Este dispositivo es el encargado de procesar las señales provenientes de los dispositivos del plano de captación y medición para realizar los cálculos pertinentes y posteriormente ser desplegados en el plano de usuario mediante alguna interfaz o aplicación. Los dispositivos que se han considerado para este propósito son los siguientes:

- PIC16F877A de la marca Microchip.
- PIC18F4550 de la marca Microchip.
- ATxmega16A4 de la marca ATMEL.

3.3. Plano de usuario

Módulo bluetooth: este dispositivo permite transmitir voz y datos mediante un enlace de radio frecuencia entre dos dispositivos móviles, esta tecnología utiliza la banda de 2.4GHz para transmitir la información. Dentro de las ventajas que se tiene al usar este dispositivo es que facilita las comunicaciones entre equipos móviles, permite eliminar los cables y conectores y facilita la sincronización de datos entre equipos personales. De este modo, los módulos que se han considerado para llevar a cabo esta función son los siguientes:

- Modulo bluetooth para microcontroladores RN-41 de la marca Roving Networks.
- Módulo bluetooth para microcontroladores HC-05 de la marca Wavesen.

3.4. Plano de alimentación

Pensando en un dispositivo que evite el uso de baterías, y que la alimentación no sea interrumpida por alguna falla o intermitencia en la red eléctrica, se ha considerado hacer uso de un Sistema de Alimentación Ininterrumpida SAI o en inglés Uninterruptible Power Supply UPS.

Las UPS son dispositivos que pueden suministrar energía eléctrica por un tiempo limitado, haciendo uso de baterías u otros dispositivos almacenadores de energía, a otros dispositivos que se encuentren conectados al sistema cuando se produzca algún corte en el suministro normal de energía eléctrica que puede ocurrir debido a fallos o cortes en la red eléctrica. Este tipo de dispositivos además de servir como un respaldo para la alimentación de los sistemas, puede mejorar la calidad de la energía eléctrica ya que puede filtrar subidas y bajadas de tensión además de eliminar armónicos. Este tipo de dispositivos dan energía a equipos que requieren suministro ininterrumpido de energía eléctrica y que sea de calidad como los aparatos médicos, industriales o informáticos.

Los dispositivos que se han considerado para llevar a cabo esta labor son:

- Pico UPS 100 de la marca Mini Box.
- DCDC USB 200 de la marca Mini Box.

De manera general y según lo mencionado anteriormente, el sistema se compone por dispositivos de captura, medición, transmisión y procesamiento:

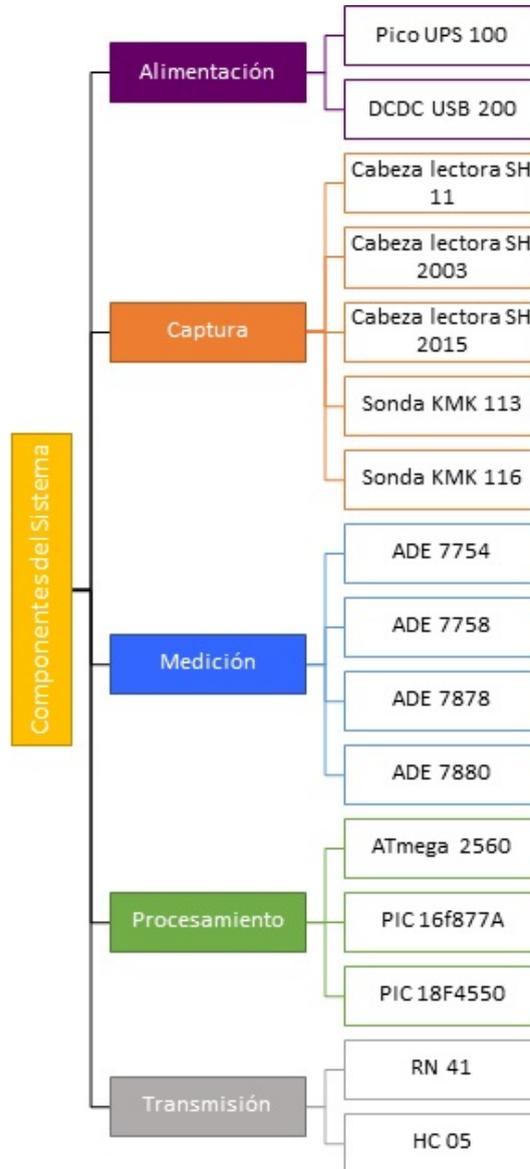


Figura 3.2: Componentes del sistema.
Fuente: elaboración propia.

3.5. Selección de la solución electrónica definitiva

Para elegir la solución electrónica definitiva ha sido necesario acudir a la técnica de Análisis Morfológico, ya que permite analizar y determinar mediante el uso de múltiples combinaciones la solución mas apropiada de acuerdo al propósito del proyecto.

Esta herramienta fue desarrollada e implementada por Fritz Zwicky un reconocido astrofísico y científico aeroespacial y que según él, el análisis morfológico es un método para estructurar e investigar la totalidad de relaciones contenidas en un problema multidimensional, complejo y esencialmente no cuantificable.

El término morfología proviene del griego morph (“forma”) y logía (“tratado”, “ciencia”); así, el todo significa literalmente “ciencia (o estudio) de la forma”, de este modo es posible concebir la morfología, como una disciplina que estudia la generación y las propiedades de la forma, y que se aplica en casi todas las ramas del diseño [10], en este caso para el diseño hardware.

El objetivo del análisis morfológico es explorar sistemáticamente los futuros posibles que se obtienen como resultado del estudio de las diferentes combinaciones que surgen de la descomposición de un sistema. El descomponer un sistema implica dividirlo en dimensiones que permitan estudiarse para así poder sacar conclusiones acerca de su estado actual o futuro [10].

3.5.1. Construcción del espacio morfológico

El espacio morfológico es el campo de los posibles y está compuesto por las todas las combinaciones que se obtuvieron al realizar la descomposición del sistema y de las hipótesis formuladas en cada uno de los subsistemas, para construir el espacio morfológico se debe seleccionar cuidadosamente los subsistemas que componen el sistema bajo inspección, además realizar una hipótesis sobre cómo se comportan los subsistemas y como van a evolucionar. [10].

En la Figura 3.3, se pueden apreciar los dispositivos que han sido contemplados en cada uno de los planos anteriormente mencionados y que se consideran como posibilidades a ser los constituyentes de la solución electrónica definitiva, también se pueden observar la gran cantidad de escenarios que resultan de la combinación de cada una de estas posibilidades, esto es, el espacio morfológico.

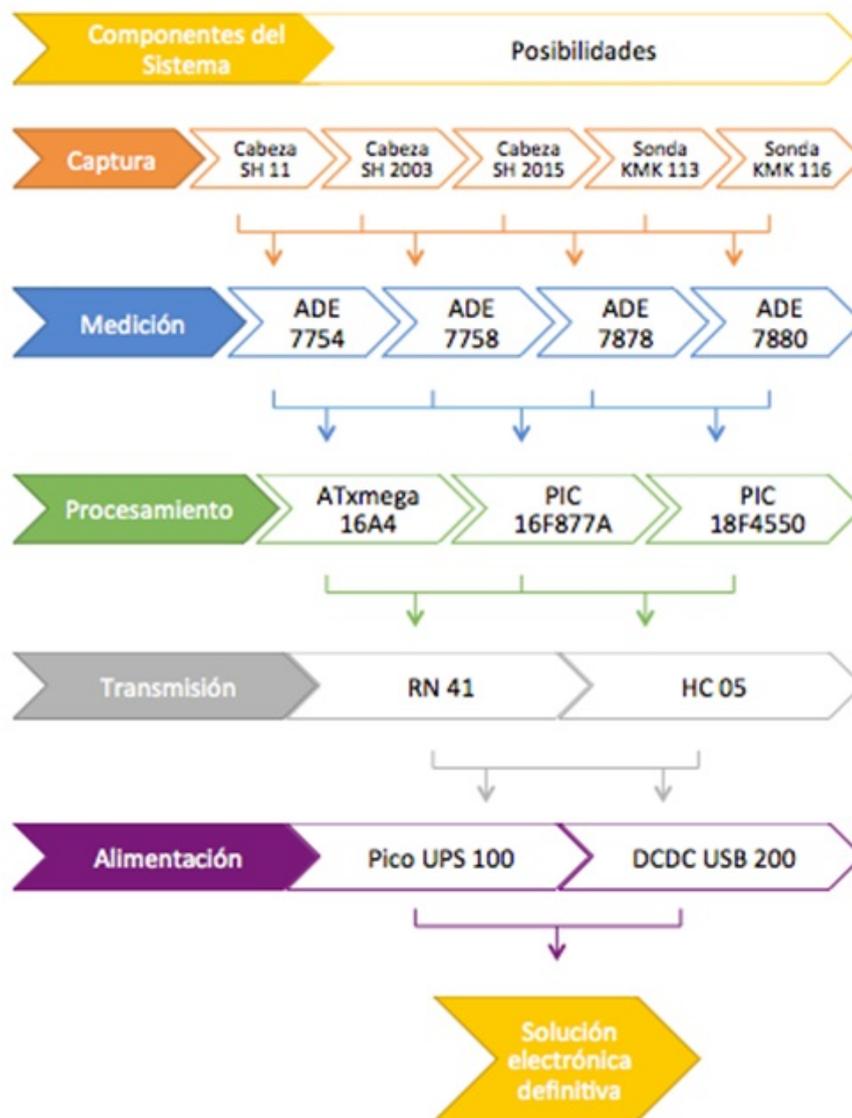


Figura 3.3: Componentes opcionales.

Fuente: elaboración propia.

Con base en la Figura 3.3 y de acuerdo al número de dispositivos que hacen parte de cada plano, es posible determinar de manera cuantitativa el espacio morfológico, procediendo de la siguiente forma:

$$E.M = D.Captura * D.Medicion * D.Procesamiento * D.Transmision. * D.Alimentacion \quad (3.1)$$

E.M = Espacio Morfológico.

Dispositivos de Captura = 5

Dispositivos de Medición = 4

Dispositivos de Procesamiento = 3

Dispositivos de Transmisión = 2

Dispositivos de Alimentación = 2

$$E.M = 5 * 4 * 3 * 2 * 2 = 240 \quad (3.2)$$

Estas 240 posibilidades reflejan 240 escenarios, que deben ser analizados con el propósito de optar por el escenario mas conveniente.

Para determinar la elección mas viable y funcional, es necesario considerar cada una de las características de los dispositivos, pues es aquí en donde es posible realizar un análisis profundo que permitirá establecer criterios que posibiliten descartar diferentes dispositivos.

Por esta razón, se presentan las siguientes tablas informativas con el fin de conocer las características eléctricas, electrónicas, mecánicas y económicas de cada uno de los dispositivos, para que de este modo sea posible determinar que dispositivos harán parte de la solución electrónica definitiva mediante criterios de exclusión.

3.5.1.1. Cabezas lectoras fotoeléctricas

Marca	Meter Test Equipment MTE	Meter Test Equipment MTE	Meter Test Equipment MTE
Modelo	SH 11	SH 2003	SH 2015
Tipo de medi- dor	Electromecánicos y electrónicos	Electromecánicos y electrónicos	Electrónicos

Continua en la siguiente página.

Especificaciones mecánicas			
Material de la cobertura	Metal	Plástico duro	Plástico duro
Especificaciones eléctricas			
Tensión de alimentación	10 - 30 V DC	11 - 30 V DC	8 - 30 V DC
Consumo máximo de intensidad sin carga a la salida	1 - 40 mA	1 - 30 mA	3 - 13 mA
Duración de la longitud del impulso del contador	Debe ser mayor o igual a 100 useg	Debe ser mayor a 60 useg	Aproximadamente 1 mseg
Frecuencia del contador	Hasta 800 Hz	En una relación 1:2 la frecuencia debe ser menor a 500 Hz	Hasta 800 Hz
Interfaz de conexión a la salida	Pin de salida de pulsos	Pin de salida de pulsos	Pin de salida de pulsos
Especificaciones económicas			
Precio en euros	870.01	1116.35	1211.80
Precio del euro a la fecha	3218.4	3218.4	3218.4
Precio en pesos colombianos	2'800000	3'592800	3'900000

Tabla 3.1: Especificaciones cabezas lectoras fotoeléctricas.

3.5.1.2. Sondas ópticas

Marca	REDZ	REDZ
Modelo	KMK 113	KMK 116
Tipo de medidores	Electromecánicos y electrónicos	Electromecánicos y electrónicos
Especificaciones mecánicas		
Diámetro	32 mm	32 mm
Altura	28.5 mm	28.5 mm
Peso	125 gr	125 gr
Material del cuerpo y la cubierta	ABS	ABS
Especificaciones eléctricas		
Longitud del cable	2m	3m
Velocidad de comunicación de datos	Máximo 19200 baudios	Máximo 19200 baudios
Tensión de funcionamiento	3.3 V puerto pasivo alimentado por señales DTR y/o RTS	5 V puerto pasivo alimentado por USB
Interfaz eléctrica	RS 232	USB
Longitud de onda	900 nm	900 nm
Especificaciones económicas		
Precio en euros	85.40	89.40
Precio del euro a la fecha	3218.4	3218.4
Precio en pesos colombianos	\$274850	\$287.750

Tabla 3.2: Especificaciones sondas ópticas.

3.5.1.3. Integrados ADE 77XX

Marca	Analog Devices Inc	Analog Devices Inc
Modelo	ADE7754	ADE7758
Tipo de medidor	Trifásico	Trifásico

Continua en la siguiente página.

Provisión de datos	Potencia activa, aparente, corriente y voltaje RMS	Potencia activa, aparente y reactiva, corriente y voltaje RMS
Especificaciones mecánicas		
Tipo de montaje	Montaje de superficie	Montaje de superficie
Tipo de empaquetado	24 SOIC (ancho 0.295", 7.50 mm)	24 SOIC (ancho 0.295", 7.50 mm)
Especificaciones eléctricas		
Impedancia de entrada	370 K Ω	380 K Ω
Error de medición	0.1 %	0.1 %
Voltaje entrada/salida alto	2.4 V	2.4 V
Voltaje entrada/salida bajo	0.8 V	0.8 V
Corriente - Suministro	7 mA	8 mA
Voltaje de la fuente	4.75 - 5.25 V	4.75 - 5.25 V
Temperatura de operación	-40°C - 85°C	-40°C - 85°C
Especificaciones económicas		
Precio en dólares	11.96	12.18
Precio del dólar a la fecha	2946	2946
Precio en pesos colombianos	Aprox. 35250	Aprox. 35900

Tabla 3.3: Especificaciones integrados ADE 77XX.

3.5.1.4. Integrados ADE 78XX

Marca	Analog Devices Inc	Analog Devices Inc
Modelo	ADE7878	ADE7880

Continua en la siguiente página.

Tipo de medidor	Trifásico	Trifásico
Provisión de datos	Potencia activa, aparente, corriente y voltaje RMS y THD	Potencia activa, aparente y reactiva, corriente y voltaje RMS, THD y el total de los armónicos
Especificaciones mecánicas		
Tipo de montaje	Montaje en superficie	Montaje en superficie
Tipo de empaquetado	40 - LFCSP - WQ (6*6)	40 - LFCSP - WQ (6*6)
Especificaciones eléctricas		
Impedancia de entrada	400 K Ω	490 K Ω
Error de medición	0.2 %	0.2 %
Voltaje entrada/salida alto	2 V , 2.4 V	2.4 V, 3 V
Voltaje entrada/salida bajo	0.4 V, 0.8 V	0.4 V, 0.8 V
Corriente - Suministro	20 mA	25 mA
Voltaje de la fuente	2.8 - 3.7 V	2.97 - 3.63 V
Temperatura de operación	-40°C - 85°C	-40°C - 85°C
Especificaciones económicas		
Precio en dólares	13.59	14.19
Precio del dólar a la fecha	2946	2946
Precio en pesos colombianos	Aprox. 40100	Aprox. 41850

Tabla 3.4: Especificaciones integrados ADE 78XX.

3.5.1.5. Microcontroladores

Marca	ATMEL	Microchip	Microchip
Modelo	ATmega2560	PIC16F877A	PIC18F4550
Especificaciones mecánicas			
Encapsulado	PDIP	DIP	DIP
Tecnología de fabricación	CMOS	CMOS	CMOS
Especificaciones eléctricas			
Número de bits de procesamiento	8	8	8
Voltaje de alimentación	1.6 - 3.6 V DC	3 - 5.5 V DC	2.0 - 5.5 V DC
Corriente máxima absorbida	20 mA	25 mA	25 mA
Memoria de programa	FLASH	FLASH	FLASH
Memoria de datos	EEPROM	368 bytes RAM, 256 bytes EEPROM	2048 bytes RAM, 256 bytes EEPROM
Frecuencia oscilador	32 MHz	Máxima 20 MHz	Máxima 40 MHz
Módulo A/D	Sí	Sí	Sí
Temporizadores / Contadores	3	3H	4
Pines	44	41	41
Temperatura de operación	-40°C - 85°C	-55°C - 125°C	-55°C - 125°C
Especificaciones económicas			
Precio en dólares	16.74	3.05	5.77
Precio del dólar a la fecha	2946	2946	2946

Continúa en la siguiente página.

Precio en pesos colombianos	Aprox. 49500	9000	17000
------------------------------------	--------------	------	-------

Tabla 3.5: Especificaciones microcontroladores.

3.5.1.6. Módulo bluetooth

Marca	Roving Networks	Wavesen
Modelo	RN-41	HC-05
Especificaciones mecánicas		
Dimensiones	13.4 x 25.8 x 2 mm	26.9 x 13 x 2.2 mm
Especificaciones eléctricas		
Voltaje de alimentación	3 - 3.6 V DC	3.3 - 6 V DC
Potencia de salida	12 dBm	4 dBm
Sensitividad	-80 dBm	-80 dBm
Consumo de corriente	Modo inactivo 26 μ A, 3 mA en conexión establecida y 30 - 50 mA transmitiendo	En operación < 40 mA y en modo inactivo < 1 mA
Máxima distancia de transmisión	100 m	10 m
Interfaz de comunicación	UART y USB	UART y USB
Frecuencia	2.402 - 2.480 GHz	2.402 - 2.480 GHz
Temperatura de operación	-40 - 85°C	-20 - 75°C
Especificaciones económicas		
Precio en dólares	45	8.99
Precio del dólar a la fecha	2946	2946

Continúa en la siguiente página.

Precio en pesos colombianos	\$ 132.600	\$ 26.500
------------------------------------	------------	-----------

Tabla 3.6: Especificaciones módulo bluetooth.

3.5.1.7. Dispositivos de alimentación

Marca	Mini Box	Mini Box
Modelo	Pico UPS 100	DCDC USB 200
Especificaciones mecánicas		
Dimensiones	58 * 36 * 20 mm	160 * 45 * 23 mm
Especificaciones eléctricas		
Voltaje de alimentación	6 - 18 V	6 - 34 V
Voltaje de salida	12 V	Programable de 5 - 24 V
USB	No	Si
Especificaciones económicas		
Precio en dólares	29.95	59.95
Precio del dólar a la fecha	2946	2946
Precio en pesos colombianos	\$ 88.250	\$ 176.612

Tabla 3.7: Especificaciones dispositivos de alimentación.

Conociendo las características de cada uno de los dispositivos, y teniendo en cuenta los propósitos planteados por CEO, se procede a realizar una reducción del espacio morfológico con base en criterios de exclusión.

3.5.2. Reducción del espacio morfológico

En esta etapa y gracias al manejo de criterios de exclusión es posible reducir el espacio morfológico a un número de posibilidades manejables. Este análisis consiste en descartar todas aquellas opciones que son inconsistentes o que no son compatibles.

Los criterios de exclusión permiten seleccionar los dispositivos que hacen parte de un mismo plano y que garantizan la viabilidad y la calidad de la solución electrónica, los criterios que han sido definidos son los siguientes:

1. Disponibilidad: hace referencia a la facilidad de adquirir el producto en el mercado.
2. Escalabilidad: hace referencia a la capacidad que tiene el dispositivo de permitir la incorporación de nuevas funcionalidades en el transcurso del tiempo.
3. Incompatibilidad: hace referencia a la falta de compatibilidad de los dispositivos para los propósitos establecidos.
4. Soporte y material de apoyo: hace referencia a la cantidad y calidad de información que permitan conocer la configuración y estructura de los dispositivos.
5. Requiere de dispositivos o circuitos adicionales: se refiere a la adquisición de dispositivos adicionales para la implementación de un dispositivo.
6. Dificil implementación: hace referencia a la dificultad de implementar el dispositivo.
7. Sobredimensionamiento: se refiere a que un dispositivo pese a que presente grandes cualidades, resulta ser exagerado para su implementación.
8. Alto Costo: el cliente espera que el desarrollo del dispositivo electrónico patrón sea de bajo costo, por lo tanto este es un criterio determinante para tener en cuenta en la selección del dispositivo
9. Herramientas de desarrollo: hace referencia a la disponibilidad y compatibilidad de herramientas que pueden ser utilizadas según el gusto del desarrollador.
10. Exactitud de las medidas: al tratarse de un dispositivo para verificación en sitio, se requiere de un alto nivel de exactitud, pues de ello depende la certeza de la medida y la verificación.

Con los criterios de exclusión previamente establecidos, se procede a realizar el análisis respectivo de cada uno de los dispositivos, con el propósito de descartar uno o varios de ellos.

Cabezas fotoeléctricas:

El sexto criterio (difícil implementación) y el octavo criterio (alto costo) son criterios de exclusión para las tres cabezas fotoeléctricas porque estas sondas requieren de un soporte fijo para su instalación y operación, y además que el objetivo del presente desarrollo es un dispositivo de bajo costo.

Sondas ópticas:

El sexto criterio de exclusión (difícil implementación) aplica a la sonda óptica REDZ KMK 113 pues este dispositivo requiere de una configuración en la conexión más exigente, y que en caso de no estar debidamente configurada puede generar problemas en la adquisición de los datos.

Módulo bluetooth:

El primer criterio (disponibilidad), el séptimo criterio (sobredimensionamiento) y el octavo criterio (alto costo) son criterios que permiten descartar el módulo bluetooth RN - 41. Respecto al criterio de sobredimensionamiento, el dispositivo ofrece excelentes prestaciones que pueden ser menospreciadas para los propósitos del desarrollo, un ejemplo de esto es el alcance del dispositivo (100 metros), que resulta muy útil para otras aplicaciones, pero para esta en particular es suficiente con un par de metros. Finalmente el costo en comparación al otro dispositivo es muy elevado sin contar con el costo por importación del producto.

Microcontrolador:

Los microcontroladores pueden ser clasificados primordialmente como de 4, 8, 16 ó 32 bits, los procesadores que ofrecen una mayor cantidad de prestaciones son los de 16 y 32 bits, pero en el mercado se adquieren en mayor medida los de 8 y aun se hace uso de los de 4 bits, ya que los dos últimos son suficientes para la gran mayoría de las aplicaciones, esto hace innecesario el uso de micros más potentes además que implica un mayor costo.

Existen otras similitudes aparte de las ya mencionadas y algunas diferencias que no son tan significativas en cuanto a las prestaciones, ya que cualquiera de estos puede suplir las necesidades del proyecto.

Debido a las grandes similitudes y facilidades que brindan los dispositivos, hay ciertas particularidades dentro de cada uno de ellos que conllevan a ser descartados, estas son:

El criterio número cuatro (soporte y material de apoyo) y el criterio número nueve (herramientas de desarrollo) son criterios suficientes para excluir de la implementación al microcontrolador ATmega 2560, pues la información disponible sobre esta familia de microcontroladores de ATMEL es bastante limitada respecto a la información disponible sobre el uso de los microcontroladores de Microchip.

Finalmente entre los microcontroladores de Microchip el criterio número siete (difícil implementación) aplica al microcontrolador PIC 16F877A, pues para operar un módulo bluetooth requiere de un tratamiento especializado y complejo en el dispositivo a diferencia del otro PIC.

Circuitos integrados:

Con base en el criterio número tres (incompatibilidad) y el criterio número diez (exactitud de las medidas) se descarta el uso de los ADE7880 y ADE7878 pues ambos proporcionan una exactitud del 0.2% que a pesar de que es excelente, puede incrementar según las condiciones en las que se realiza la verificación, por otro lado ambos elementos son para aplicaciones de bajos niveles de corriente (6A rms) lo que hace de estos dispositivos incompatibles con el presente proyecto. Por otro lado el ADE7758 se descarta con base en el criterio número uno (disponibilidad) y número cuatro (soporte y material de apoyo).

Fuente de alimentación:

Con base en el criterio de exclusión número ocho (alto costo), se descarta la fuente de alimentación inteligente DCDC USB 200, ya que existe una diferencia bastante significativa en cuanto al precio de ambos dispositivos (aproximadamente treinta dólares).

3.5.3. Solución electrónica definitiva

Con base en los criterios de exclusión ha sido posible determinar los elementos que no harán parte del sistema electrónico, de este modo, la propuesta a la selección electrónica vista desde cada uno de los planos correspondientes al sistema se puede ver en la Figura 3.4:

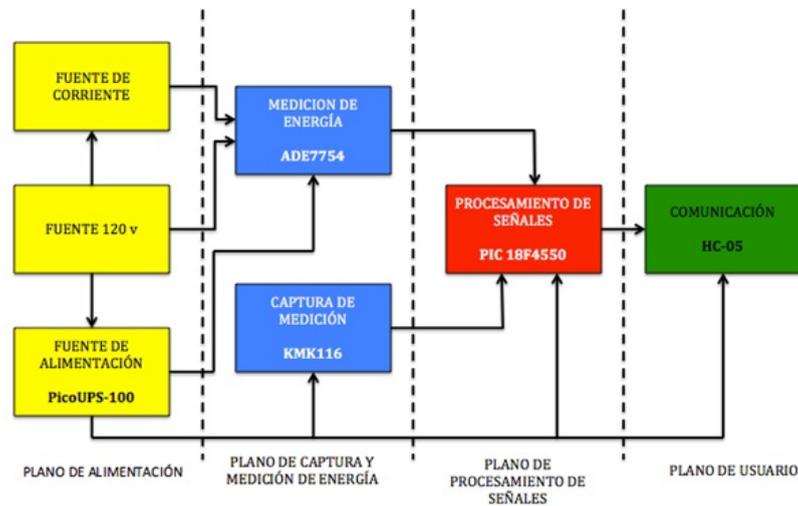


Figura 3.4: Solución definitiva.

Fuente: elaboración propia.

Con los dispositivos principales ya seleccionados, se procede a realizar una descripción de cada uno de ellos, y se determinan los componentes necesarios, para que cada uno de estos opere de manera óptima, para posteriormente realizar las interconexiones pertinentes y finalmente obtener el sistema electrónico patrón.

Haciendo alusión a los métodos de verificación, el sistema debe garantizar (proveer las conexiones correspondientes) que la verificación pueda ser ejecutada tanto con la carga de usuario como con una carga externa, por esta razón el diagrama de bloques del sistema queda ajustado como se puede apreciar en el Figura 3.5.

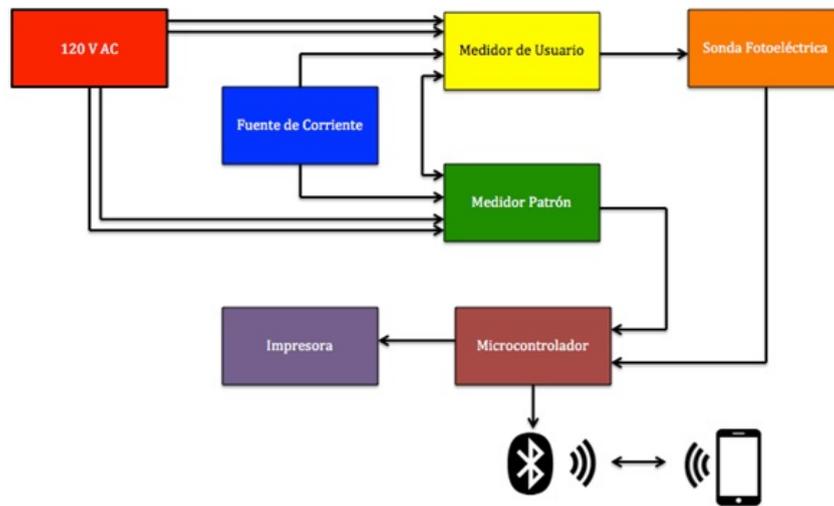


Figura 3.5: Diagrama de bloques de las conexiones del sistema.

Fuente: elaboración propia.

En este capítulo se presentó la solución electrónica a partir de un análisis de cada uno de los elementos considerados, en el siguiente capítulo se estudia cada una de las especificaciones de los elementos para posteriormente proceder con su debida conexión.

Capítulo 4

Descripción de los componentes electrónicos

La correcta interconexión de los dispositivos garantiza el cumplimiento de los objetivos del proyecto, por esta razón se procede a estudiar la forma en como estos deben ser conectados e implementados, pero antes de entrar en ese estudio, es necesario conocer dichos componentes.

4.1. Circuito integrado de medición de energía

El ADE 7754 es un circuito integrado de medición de energía de alta exactitud y alto desempeño. Incorpora todo el procesamiento de la señal requerido para la medición de potencia y energía y brinda la posibilidad de ser usado para configuraciones tanto monofásicas como trifásicas. La salida que proporciona el integrado es de pulsos, lo que hace que el dispositivo sea idóneo para propósitos de calibración. A través del puerto serial, suministra toda la información referente a la energía activa, los valores RMS y la temperatura de medición. Haciendo uso de un transductor adecuado, el medidor puede ser conectado a la línea de corriente y con una red de atenuación apropiada puede ser conectado a la línea de voltaje.

El circuito integrado posee características que permiten: la corrección del offset, corrección de fase y calibración de potencia, que aseguran alta precisión, además cuenta con un

umbral interno de no carga el cual se asegura que la parte de la señal de ruido no aparezca en la acumulación de potencia cuando en la línea no se tiene ninguna carga.

4.1.1. Descripción de los pines

En la Figura 4.1, se puede apreciar la forma en como están distribuidos los pines del ADE 7754:

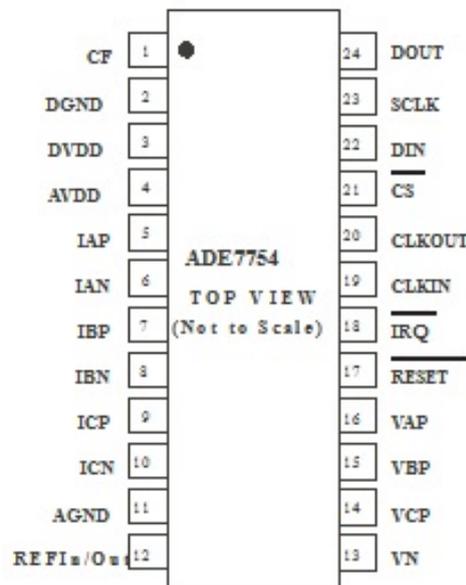


Figura 4.1: Pines del ADE 7754.

Fuente:

<http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADE7754.pdf>

En la Tabla 4.1 se realiza una breve descripción de cada uno de los pines del ADE, con el fin de conocer sus características y determinar los parámetros con los cuales estos deben ser conectados hacia los otros dispositivos.

PIN	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
1	CF	Salida lógica de frecuencia de calibración de Potencia Activa. Se encarga de suministrar la información referente a la potencia activa, esta salida es utilizada con propósitos operacionales y de calibración.
2	DGND	Tierra de referencia digital, provee la tierra para el multiplicador, filtros y el conversor digital a frecuencia, este pin es necesario debido a que los componentes digitales retornan corrientes pequeñas. Es apropiado que este pin se conecte a la tierra analógica del sistema. Sin embargo, la alta capacitancia del bus en el contacto DOUT podría dar lugar a la corriente digital ruidosa, que podría afectar el desempeño.
3	DVDD	Fuente de alimentación digital. Este contacto proporciona una fuente de voltaje para el trazado de circuito digital. El voltaje de fuente que se debe mantener es de 5 voltios a $\pm 5\%$ para la operación especificada. Este pin debe ser desacoplado de la tierra digital haciendo uso de un capacitor de $10\ \mu\text{F}$ en paralelo con un capacitor cerámico de $100\ \text{nF}$.
4	AVDD	Fuente de alimentación analógica. Este pin proporciona una fuente de voltaje para el trazado del circuito analógico. La fuente se debe mantener en 5 voltios a $\pm 5\%$ para la operación especificada. Este pin debe ser desacoplado de la tierra analógica implementado un capacitor de $10\ \mu\text{F}$ en paralelo con un capacitor cerámico de $100\ \text{nF}$.

Continúa en la siguiente página.

PIN	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
5, 6, 7, 8, 9, 10	IAP, IAN, IBP, IBN, ICP, ICN	Estos pines corresponden a las entradas analógicas de los canales de corriente. Estos canales debe ser usados con un transductor de corriente. Estas entradas son diferenciales de voltaje con una entrada máxima de nivel de señal equivalente a $\pm 0.5v$, $\pm 0.25v$, $\pm 0.125v$ dependiendo de la selección interna del registro de ganancia, además es importante resaltar que todas las entradas cuentan con un circuito de protección.
11	AGND	Referencia de tierra Analógica. Este pin brinda la referencia de tierra para el trazado de circuito analógico, es decir, ADCs, sensor de temperatura y referencia. Esta referencia de tierra debe utilizarse para todo el trazado de circuito analógico, tal como filtros de antialias y transductores de corriente y de voltaje.
12	REF	in/out Acceso al voltaje de referencia del integrado. La referencia del integrado tiene un valor nominal de 2.4 V a $\pm 8\%$ y un coeficiente típico de temperatura de 30 ppm/°C. Una fuente externa de referencia se puede también conectar en este contacto. En cualquier caso, este pin debe ser desacoplado de AGND con un capacitor cerámico de $1\mu F$.

Continúa en la siguiente página.

PIN	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
13, 14, 15, 16	VN, VCP, VBP, VAP	Estos pines se refieren a las entradas analógicas de los canales de voltaje. Este canal puede ser adaptado haciendo uso de un transductor de voltaje o una red de atenuación, en cualquiera de los casos se conecta directamente a la fuente. Como en el caso del canal de corriente, estas entradas también soportan un máximo nivel de señal a la entrada equivalente a $\pm 0.5V$, $\pm 0.25V$, $\pm 0.125V$ dependiendo de la selección interna del registro de ganancia, además es importante resaltar que todas las entradas cuentan con un circuito de protección.
17	RESET	Reset, cuando se activa mantiene en esta condición a los ADC y a toda la circuitería.
18	IRQ	Salida requerida de interrupciones, este se activa en un nivel lógico bajo (0) cuando ocurre una interrupción
19	CLKIN	Reloj principal para los ADCs y el procesamiento de señal digital. Un reloj externo puede proveer esta entrada lógica. Alternativamente, en paralelo un cristal resonante se puede conectar a través de CLKIN y CLKOUT para proporcionar una fuente del reloj para el ADE7754. La frecuencia de reloj para la operación especificada es 10 MHz.
20	CLKOUT	Un cristal se puede conectar a través de este pin y el CLKIN, según lo mencionado en el pin 19. El contacto CLKOUT puede manejar una carga CMOS cuando ninguna señal de reloj externo se provee en CLKIN o cuando un cristal esta siendo utilizando.
21	CS	Selección del Chip. Parte de la interfaz en serie de cuatro conexiones SPI. Esta entrada de información se activa con un bajo lógico que permite al ADE7754 compartir el bus serial con varios dispositivos.

Continúa en la siguiente página.

PIN	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
22	DIN	Entrada de información de datos para la interfaz serial. Los datos se cambian de puesto dentro de este pin en el flanco de bajada de la señal SCLK.
23	SCLK	Entrada del reloj serial para la sincronía con la interfaz serial. Todas las transferencias de datos seriales se sincronizan a este reloj. El SCLK tiene un Schmitt-trigger en la entrada para el uso con una fuente de reloj con un tiempo lento de transición de flanco, tal como lo es una salida de un optoacoplador.
24	DOUT	Salida de datos para la interfaz serial. Los datos se cambian de estado hacia fuera en este pin en el flanco de subida del SCLK. Esta salida lógica está normalmente en un estado de alta impedancia, a menos que esté conduciendo datos sobre el bus correspondiente.

Tabla 4.1: Configuración de pines Ade7754.

Fuente: <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADE7754.pdf>

4.1.2. Adaptación de los canales de voltaje y de corriente

Gracias a los avances tecnológicos, los medidores en la actualidad cuentan con sensores tanto de voltaje como de corriente para llevar a cabo la medición. Para la lectura del voltaje basta únicamente con implementar una red de atenuación que puede ser por medio de un divisor de voltaje o con un transformador de potencial. No ocurre lo mismo en el proceso de medición de corriente, este procedimiento es un poco más complejo por la necesidad que existe de hacer uso de sensores más avanzados y con rangos adecuados de medición, ya que se trata de una onda que constantemente está variando y además posee un gran contenido armónico. [11].

4.1.2.1. Adaptación del canal de corriente

Dentro de las tecnologías mas comunes para la lectura de corriente se encuentran: el Shunt de corriente de baja resistencia, el transformador de corriente, el sensor de efecto Hall y últimamente la introducción de la bobina Rogowsky a continuación se presenta una descripción de cada uno de ellos:

Shunt de corriente de baja resistencia [11]:

Hoy por hoy el Shunt es la alternativa más económica disponible y de gran confiabilidad. En el momento de trabajar con este dispositivo es importante tener presente su inductancia parásita ya que esta afecta la magnitud de la impedancia a frecuencias altas, el dispositivo puede causar errores a bajos factores de potencia.

Transformador de corriente [11]:

Los transformadores de corriente (TC) usan los principios de los transformadores, es decir convierten una corriente primaria en una secundaria de menor amplitud. Algunas de sus características más significativas es que son ideales para medir corrientes altas, no requiere el uso de otros dispositivos de control y son de poco consumo de potencia. En contra parte es importante anotar que debido al tipo de materiales que se utilizan para su construcción, este elemento se puede saturar con facilidad, esto además conlleva a saturación e histéresis que en conjunto generan una degradación en la precisión del elemento.

Sensor de efecto Hall [11]:

Dentro de los sensores de efecto Hall, se pueden identificar dos grupos: anillo abierto y anillo cerrado. Los de anillo cerrado a pesar de ser un poco más costosos, son de mejor precisión y manejan amplios rangos de medición. Estos dispositivos tienen buena respuesta a la frecuencia y son los apropiados para sensar corrientes altas. Un factor frecuente y no positivo en estos dispositivos es que incluyen resultados con alta deriva por temperatura.

Bobina Rogowsky:

Un modelo sencillo de la bobina Rogowsky es un inductor con inductancia mutua con la corriente primaria [11].

La bobina Rogowsky es normalmente hecha por una bobina con núcleo de aire de forma que no haya histéresis, saturación y que hace que la señal de salida del este sensor no sea igual a la señal de la línea [11].

La bobina de Rogowsky es usada para la medición de corriente alterna. Ella trabaja midiendo el campo magnético (B) causado por la corriente $i(t)$ sin necesidad de hacer contacto eléctrico con el conductor. Esta bobina ha sido usada en varias formas para detectar y medir corrientes eléctricas por décadas pero sólo hasta años recientes, está siendo usada a escala comercial.

Este sensor opera bajo un principio simple. En una bobina de núcleo de aire con forma toroidal y N vueltas, es colocado alrededor de un conductor. Cuando una corriente pasa a través del conductor, este induce un campo magnético alterno que produce un voltaje en los bordes de la bobina de núcleo de aire. La bobina es una inductancia mutua acoplada al conductor medido y el voltaje de salida es proporcional a la tasa de cambio de la corriente. El voltaje de salida de la bobina son solamente valores di/dt que cambian de acuerdo a la corriente primaria, la salida de este transductor se debe integrar, para proveer una salida que pueda reproducir la forma de onda de la corriente.

Para proveer una salida del sensor que reproduzca la forma de onda de la corriente, la combinación de bobina e integrador provee un sistema donde la salida es independiente de la frecuencia, el cual permite tener exactitud [9].

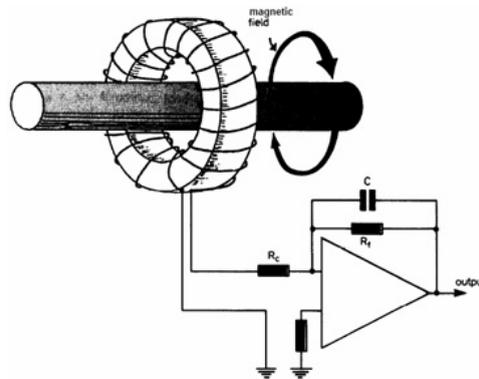


Figura 4.2: Sensor con bobina Rogowsky.

Fuente: <http://www.electroyou.it/image.php?id=5513>

Adicionalmente, este tipo de sensor puede fácilmente ser usado para medir corriente por encima de miles de amperios [9].

Con base en lo anterior, es importante resaltar algunas características que deberían cumplir los sensores de corriente, estas son [11]:

Rango de medición de corriente: establece la escala de aproximación de medición de corriente de línea en que se encuentra el medidor, su valor de rango de medición depende de la cantidad de energía que debe medir en el sistema, que de acuerdo a los criterios de diseño de este prototipo son el de consumo promedio de un hogar.

Costo: entre menos costoso sea el sensor menos costoso será el medidor de energía para una posible construcción en serie.

Linealidad sobre rango de medición: este sensor debe tener linealidad en su respuesta, esto quiere decir que la señal de salida del sensor debe ser proporcional con respecto a la señal de corriente de la línea que este midiendo el sensor.

Consumo de potencia: el sensor de corriente debe consumir la menor cantidad de energía necesaria para realizar la medición.

Problemas de saturación de corriente alta: es necesario que este sensor de corriente en su señal de salida no se sature para valores superiores al valor máximo de medición de corriente de línea para el cual el sensor fue elaborado.

Variación de la salida con respecto a la temperatura: es preciso que este sensor sea lo más exacto posible ante cambios de temperatura. Esto significa que el sensor

debe realizar mediciones con exactitud y sobre un rango de temperatura, especificado por el fabricante. Entre menor sea el impacto de la temperatura sobre la exactitud del sensor mejor será el sensor.

Nivel de Offset: es inevitable que un sensor de corriente posea la menor cantidad de offset en la señal de salida a escala completa, por la medición de corriente.

Saturación e histéresis: es importante que este sensor no tenga histéresis por medición de corriente ya hechas, ni tampoco saturación por la histéresis, porque la señal de salida del sensor alcanzaría su valor superior antes de llegar al valor máximo de corriente de la línea para el cual el sensor fue hecho.

Exactitud: es vital que el sensor de corriente sea lo más exacto posible, ya que este prototipo es un sistema de medición.

Considerando las anteriores características se llega a un cuadro comparativo el cual se observa en la Tabla 4.3 entre las distintas tecnologías anteriormente mencionadas [11]:

Sensores de Corriente	Resistencia Shunt	Transformador de Corriente	Sensor de efecto Hall	Bobina Rogowsky
Capacidad de Medición de Corriente Alta	Muy Pobre	Bueno	Bueno	Muy Bueno
Costo	Muy Bajo	Medio	Alto	Bajo
Linealidad	Muy Bueno	Regular	Pobre	Muy Bueno
Consumo de Potencia	Alto	Bajo	Medio	Bajo
Saturación a corrientes altas	No	Si	Si	No
Variación de la salida respecto a temperatura	Medio	Bajo	Alto	Muy Bajo

Continua en la siguiente página.

Nivel de Offset	Si	No	Si	No
Saturación e Histéresis	No	Si	Si	No

Tabla 4.2: Comparación de tecnologías de medición de corriente.

Fuente: Koon, Wiliam; Current sensing for energy metering; Analog Devices, Inc. Pag. 9

En la Tabla 4.3, se puede inferir que la más apropiada y de mejores prestaciones es la bobina Rogowsky. Dentro de la gran cantidad de fabricantes de sensores de corriente, Honeywell ofrece sensores de efecto Hall que vienen implementados con un gran numero de mejoras en contraste con las bobinas de Rogowsky. Los sensores de efecto Hall ofrecidos por Honeywell usan circuitos integrados de aplicación específica y sensores magneto resistivos haciendo que estos tengan niveles de voltaje offset (originados por la temperatura) extremadamente bajos, con resultados de temperatura estable y con altísima exactitud en la medición esto hace que los dispositivos sean bastante atractivos pues implementan las mejoras relacionadas a la linealidad, consumo de potencia, saturación, nivel de offset, histéresis y temperatura.

Los dispositivos que se han contemplado, para llevar a cabo esta función son:

- CSNX25 de la marca Honeywell.
- CSNT651-001 de la marca Honeywell.

Los sensores de Honeywell pueden supervisar la corriente alterna o continua, desde sensores de salida digital que detectan unos pocos cientos de miliamperios hasta sensores lineales capaces de monitorear más de mil amperios.

Estos sensores de corriente de lazo cerrado se basan en los principios de efecto Hall y magneto resistivo, y el método de flujo magnético cero (sistema de retroalimentación). El flujo magnético en el núcleo del sensor se controla constantemente a cero. La cantidad de corriente requerida para equilibrar el flujo cero es la medida de la corriente primaria que

fluye a través del conductor multiplicada por la proporción de los bobinados primario y secundario del sensor. Esta corriente de lazo cerrado es la salida del dispositivo y presenta una imagen de la corriente primaria reducida en la cantidad de vueltas secundarias en cualquier momento dado. Esta corriente puede expresarse como voltaje pasándola por una resistencia.

Con base en las características que se describieron anteriormente, se procede a realizar un proceso de selección basado en criterios de inclusión, es decir que el dispositivo que proporcione las mejores prestaciones o dicho de otro modo, el que cumpla con las características se tomará en cuenta como el dispositivo encargado de realizar la adaptación del canal de corriente del circuito integrado de medición de energía.

También es importante aclarar que el tipo de conexión en ambas tecnologías es diferente, para el caso de las bobinas se requiere que el medidor patrón disponga de un puerto o punto de conexión al cual estas puedan ser conectadas, esto hace que el sensor se ubique en el exterior del dispositivo patrón y la conexión a la línea también. Por otro lado el sensor de efecto Hall está incluido dentro del dispositivo patrón y siguiendo los objetivos del proyecto y haciendo alusión al SVIMD el sensor de efecto Hall es más apropiado pues la línea de corriente se conecta a este a través de un puerto de conexión lo que provee de seguridad y estabilidad a la medida.

En la Figura 4.3 se presenta un medidor haciendo uso de bobinas Rogowsky, se puede notar que la conexión es externa, además de esto requiere de condiciones especiales ya que este dispositivo a pesar de ser muy bueno, es muy susceptible a campos magnéticos, y requiere de mucha estabilidad en la conexión a la línea de corriente, además de lo anterior es importante mencionar que este tipo de dispositivos están más expuestos al daño y al deterioro por la manipulación.



Figura 4.3: Medidor de energía con bobinas Rogowsky.

Fuente:

http://www.isotest.es/web/instrumentacion_electronica/tipo/instrumentacion_electronica/analizadores_de_redes_electricas.html

Las características más importantes de los dispositivos de medición de corriente, se presentan en la Tabla 4.3.

Sensor de Corriente	CSNX25	CSNT651-001
Marca	Honeywell	Honeywell
Variación de la salida respecto a temperatura	No	No
Nivel de Offset	No	No
Saturación e Histéresis	No	No
Tipo de sensor	Lineal de lazo cerrado	Lineal de lazo cerrado
Tipo de corriente detectada	CA o CC	CA o CC
Rango de corriente detectado	± 56 A	± 150 A
Tipo cuerpo	Montaje PCB de conexión en serie	Montaje PCB de conexión en serie
Tipo de salida	Corriente	Corriente

Continúa en la siguiente página.

Sensor de Corriente	CSNX25	CSNT651-001
Corriente de operación	25 A RMS a 25 °C	50 A RMS a 25 °C
Corriente de alimentación	±12 mA + salida	±10 mA + salida
Voltaje de alimentación	4,75 VCC a 5,25 VCC	±12,0 VCC a ±15,0 VCC
Corriente de deriva	< ±0,03 mA	< ±0,1 mA
Desfase de corriente de deriva	< ±0,01 mA	< ±0,25 mA
Resistencia de la bobina	50 Ohm	100 Ohm
Tiempo de respuesta	< 0,2 μ s	< 0,5 μ s
Vueltas de bobina	2000	2000
Salida nominal	12,5 mA	25 mA
Temperatura de funcionamiento	De -40 °C a 85 °C (de -40 °F a 185 °F)	De -40 °C a 85 °C (de -40 °F a 185 °F)
Temperatura de almacenamiento	De -40 °C a 90 °C (de -40 °F a 194 °F)	De -40 °C a 90 °C (de -40 °F a 194 °F)
Resistencia de medición	0 ohmios mín. 80 ohmios máx.	10 ohmios mín. 125 ohmios máx.
Material del cuerpo	Poliamida rellena de vidrio (UL94-V0)	PBT relleno de vidrio (UL94-V0)
Montaje	PCB en 11 pines	PCB en 3 pines
Estilo de entrada	Unipolar	Deriva
Precisión	±0,24 %	±0,5 %
Precio dólares	49	52
Presentación		

Continúa en la siguiente página.

Sensor de Corriente	CSNX25	CSNT651-001
----------------------------	---------------	--------------------

Tabla 4.3: Comparación de tecnologías.

A pesar de que ambos dispositivos cuentan con especificaciones bastante deseables, la gran diferencia entre ellos es el rango de sensado de corriente, ya que mientras uno soporta hasta ± 56 amperios, el otro posibilita el sensado de corrientes de hasta ± 150 amperios. En condiciones ideales, a través de la red existe un flujo de alrededor de ± 40 A, pero en condiciones en la práctica, la red presenta fluctuaciones que hacen que los niveles de la señal de corriente pueden llegar hasta los ± 120 A, razón por la cual se opta por el sensor CSNT651-001 que soporta hasta ± 150 A garantizando linealidad sobre ese rango de medición.

Independientemente de la tecnología que se emplee, el ADE 7754 al igual que los otros integrados de medición de energía ofrecidos por Analog Devices necesitan de un filtro pasabajo o filtro antialias, que se encarga de rechazar otras frecuencias.

4.1.2.2. Adaptación del canal de voltaje

Para la adaptación del canal de voltaje, es necesario diseñar e implementar una red de atenuación que es en esencia un divisor de voltaje, esto con base en las especificaciones del fabricante. El divisor se encarga de reducir la tensión de la línea de voltaje al nivel de señal que requiere el canal de voltaje del ADE 7754. En el diseño se hará mención a este circuito y la forma en como será elaborado.

4.2. Microcontrolador PIC 18f4550

El PIC18F4550 es un microcontrolador de alto rendimiento computacional y de bajo costo. Internamente está compuesto por varios bloques funcionales que se encargan de realizar una tarea en específico y como todo microcontrolador tiene las tres unidades funcionales principales (unidad central de procesamiento, memoria y periféricos de entrada/salida). Este microcontrolador cuenta con un módulo de comunicación USB, un módulo de comunicación serial USART, un módulo de conversión analógico - digital de 10 bits y un

módulo CCP Capture Compare PWM.

Para este proyecto se hará uso de los módulos USB y USART, también se emplearán varios puertos que tendrán como propósito recibir las señales provenientes del ADE.

En la Figura 4.4 se puede ver la forma en como están distribuidos los pines en el microcontrolador PIC18F4550:

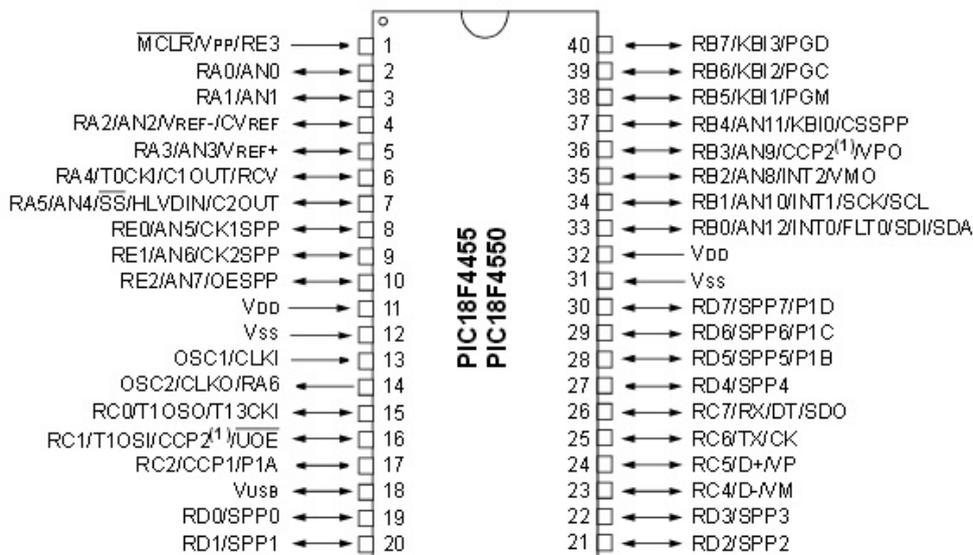


Figura 4.4: Pines del PIC18F4550.

Fuente: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39632c.pdf>

4.3. Dispositivos de alimentación

La Pico UPS 100 es una pequeña, pero potente solución de UPS, ha sido diseñada especialmente para la operación de alimentación ininterrumpida, en donde se requiere la operación “siempre activa”. El dispositivo, integra una unidad de carga de batería de doble recarga automática. Con unas dimensiones de sólo 58 x 36 x 20 milímetros, la Pico UPS 100 garantiza suministro energético cuando la fuente principal no está disponible.

La Pico UPS 100 cambia automáticamente entre la alimentación DC (condiciones normales, 15 a 18 V) y la batería SLA, en caso de que finalice dicha alimentación. El cambio es instantáneo, garantizando una alimentación ininterrumpida en todo momento que no

incide en el hardware.

En la Figura 4.5 se puede apreciar la fuente de alimentación inteligente Pico UPS 100:

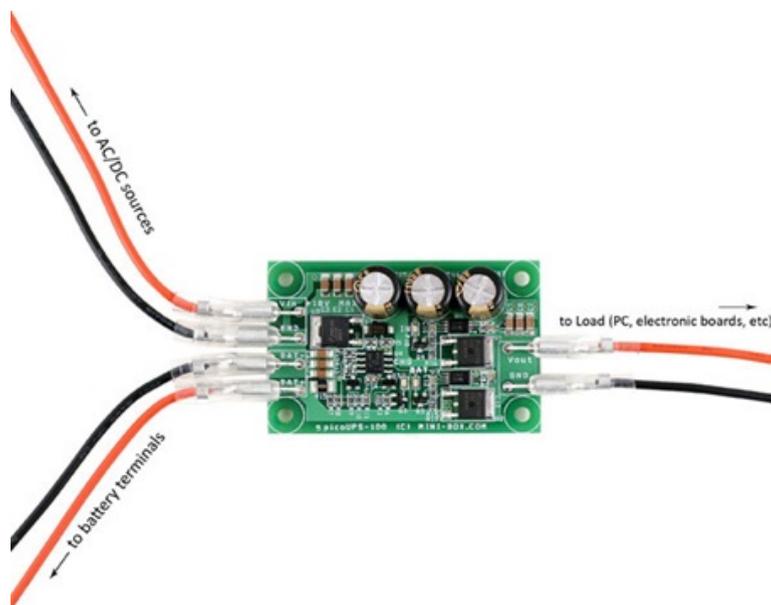


Figura 4.5: Pico UPS 100.

Fuente: <http://resources.mini-box.com/online/PWR-PicoUPS-100/moreimages/picoUPS-100-big1.jpg>

Para facilitar su uso el dispositivo incorpora indicadores LED en verde, rojo y naranja que informan en todo momento del estado de carga de las baterías.

Algunas de las características técnicas de la Pico UPS 100 se presentan a continuación:

- Voltaje de entrada: 6 a 18 V (las baterías solo cargan a partir de 15V).
- Requisitos de alimentación: 16V regulados, min 2A. Carga de baterías con 500 mA.
- Condiciones del entorno: De -20° a 65°. Sin ventilador el cuerpo del SAI puede presentar problemas a partir de los 75° y en ningún caso debe excederse de 85°. La humedad relativa debe moverse entre el 10 y el 90 %.
- Dimensiones: 58 x 36 x 20.
- Peso: 30 gramos.

Como se mencionó anteriormente, el dispositivo para su normal operación requiere de un suministro de energía que proviene de una fuente DC o de una batería. Para el caso de que la alimentación provenga de la red eléctrica es necesario hacer uso de un transformador que satisfaga las condiciones de operación de la Pico UPS 100, por esta razón se ha decidido hacer uso del transformador AC/DC LS01 - 15B15SS del fabricante MORNSUN.

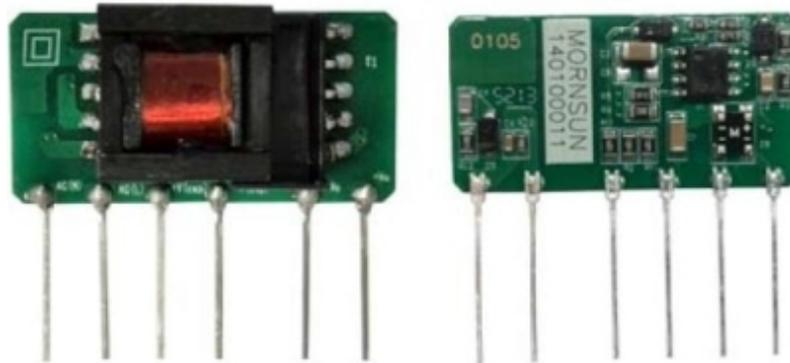


Figura 4.6: Transformador AC/DC LS01 - 15B15SS.

Fuente: http://www.ineltro.ch/upload/prj/product/big/PowerSupply_Mornsun_LS01-15BxxSS.jpg

Teniendo en cuenta que la red eléctrica presenta continuamente fluctuaciones, en donde los niveles de voltaje puede subir o bajar alrededor de los 120 V, el dispositivo ofrece un amplio rango de voltajes de operación que va desde 85 VAC hasta 240 VAC y desde 70 VDC a 40 VDC, garantizando siempre a la salida 15 V que son los que la UPS requiere para funcionar. Al tratarse de un circuito impreso, en el medidor patrón se debe garantizar un punto de conexión con este dispositivo.

Cuando el suministro de energía proveniente de la red eléctrica es interrumpido, la UPS abastece la circuitería desde una batería que debe ser de 12V. La duración del suministro de energía desde la batería, depende del tipo de batería que se emplee, por ejemplo una batería de 12v y 7AH puede suministrar 500 mA durante 14 horas.

Para los componentes electrónicos que necesitan para su operación un suministro de 5V hay que hacer una consideración especial pues la salida de la Pico UPS 100 es de 12V. Los 12V se emplearán para suministrar la energía al transductor de corriente CSNT651-001, por otro lado y para el resto de circuitería (microcontrolador, sonda, ADE, modulo

bluetooth) que requieren de 5V, se dispone de un transformador DC/DC de 12V a 5V, el dispositivo que se ha considerado para llevar a cabo esta labor es el CPT-C5, y se puede apreciar en la Figura4.7.



Figura 4.7: Transformador de energía CPT-C5.

Fuente: <http://www.seeedstudio.com/depot/images/P1130253.jpg>

Este dispositivo tiene una eficiencia de conversión del 96 %, es resistente al agua, golpes, humedad, adecuado para ambientes hostiles, tiene protección contra cortocircuitos, sobre corriente, sobre protección de la temperatura. Cuando detecta un corto circuito, corta la salida, y al arreglarse el sistema vuelve a la normalidad.

Las dimensiones del CPT-C5 son 66 * 60 * 23 mm (largo * ancho * alto, sin cable), y su peso es de aproximadamente 100 gramos.

Dentro de las características técnicas mas relevantes, están:

- Voltaje de entrada DC 12/24V (entre 8 y 35V)
- Voltaje de salida: 5 V
- Potencia de salida: 25W
- Temperatura de trabajo: Industrial (- 40 ° C a +85 ° C)

- Temperatura a plena carga: 50 ° C
- Regulación de carga: $\pm 1\%$
- Regulación de voltaje: $\pm 2\%$
- Velocidad de respuesta dinámica: 5% 200US
- No tiene protección en la entrada contra inversión de polaridad, por lo cual puede ser necesario añadir un diodo en serie en el puerto de entrada.

4.4. Módulo bluetooth HC 05

El módulo bluetooth HC-05, es el dispositivo que ofrece la mejor relación costo/características, pues es un módulo master/slave (maestro/esclavo), es decir que además de permitir la recepción de peticiones de conexión, posibilita generar conexiones punto a punto con diferentes dispositivos con bluetooth integrados.

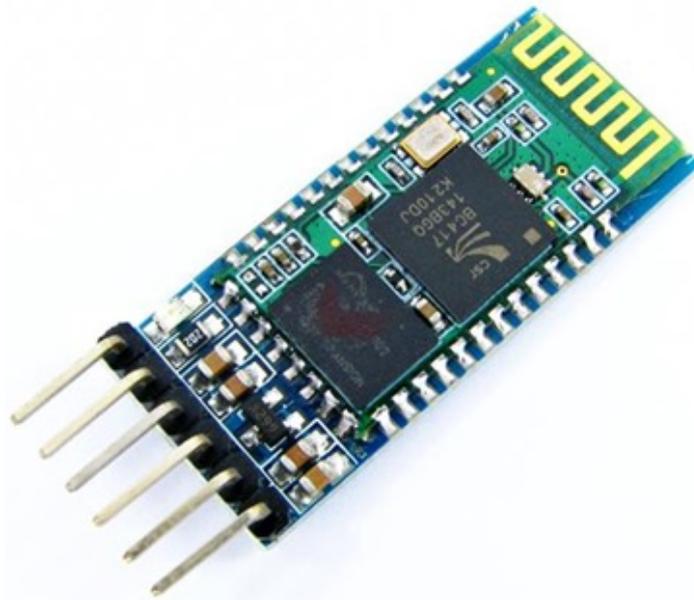


Figura 4.8: Módulo bluetooth HC-05.

Fuente: http://botscience.net/store/image/cache/data/products/MODCOM/TEL0001/Bluetooth_Module_bb-500x500.jpg

El chip del módulo bluetooth es el BC417143 que opera a 3.3V pero viene soldado sobre una placa que adapta todos sus pines para ser usado a 5V y de esta manera garantizar su

compatibilidad con diversos dispositivos.

Otras de las características mas sobresalientes del HC-05 es que este módulo tiene una sensibilidad típica equivalente a - 80 dBm, es un dispositivo de muy bajo consumo, cuenta con una interfaz UART con velocidad de modulación programable, la antena esta integrada y su alcance es de 10 metros. Por otro lado una vez que se ha establecido la conexión con algún dispositivo, esta información se almacenará para evitar la sincronización a futuro con el mismo dispositivo.

En la Tabla 3.6, se pueden apreciar otras características del módulo bluetooth.

4.5. Sonda óptica KMK 116

La sonda óptica REDZ KMK 116 está diseñada de acuerdo con el estándar IEC 62056-21 (Equipos de medida de la energía eléctrica. Intercambio de datos para la lectura de contadores, control de tarifas y de la carga.) y es compatible con todas las marcas y tipos de contadores IEC. La sonda tiene un conector USB macho Tipo-A, así que puede usarse fácilmente con ordenadores portátiles y otros dispositivos compatibles.

En la Figura 4.9 se puede apreciar la sonda óptica KMK 116.



Figura 4.9: Sonda óptica REDZ KMK 116.

Fuente: <https://shop.marcomweb.it/images/stories/virtuemart/product/kmk116.jpg>

Otras características que son importantes tener en cuenta como las eléctricas y mecánicas de la sonda óptica KMK 116 se pueden apreciar en la Tabla3.2.

Capítulo 5

Interconexión de componentes

En el presente capítulo, se procede a realizar la interconexión de cada uno de los componentes electrónicos que conforman el medidor patrón. La conexión se realiza por etapas, estas son: adaptación de canales del ADE, puerto USB, modulo bluetooth y finalmente conexión del ADE hacia el microcontrolador, esto con el fin de detallar algunas particularidades de ciertos componentes. Posteriormente se integran cada una de esas etapas para obtener el sistema electrónico patrón.

5.1. Adaptación del canal de corriente y de voltaje ADE **7754**

5.1.1. Canal de corriente

En la Figura 5.1, se puede apreciar la conexión del sensor de corriente al ADE.

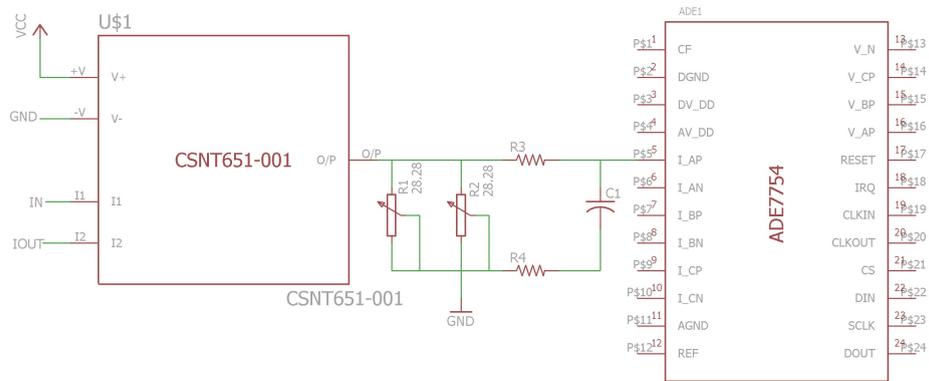


Figura 5.1: Canal de corriente.
Fuente: elaboración propia.

La conexión del sensor a la línea de suministro de energía es de forma directa, las resistencias R1 y R2 permiten realizar una representación proporcional a la forma de onda de la señal de la línea de corriente. Después de que se obtiene la señal, debe ser filtrada para rechazar las frecuencias indeseadas para esto se implementa un filtro que se compone de las resistencias R3, R4 y el capacitor C1.

Considerando que el CSNT651-001 tiene una salida de corriente, y su valor máximo es de 25 mA, se calculan las resistencias R1 y R2 como se ve en la ecuación 5.1.

$$R = \frac{0.5}{\sqrt{2} * 0.025} = 14.14 Ohm \quad R = \frac{R1 * R2}{R1 + R2} \quad (5.1)$$

Donde 0.5 corresponde al valor máximo de entrada de los pines IAP, IAN, IBP, IBN, ICP e ICN.

Las resistencias R1 Y R2 se escogen de tal manera que entre las 2 den el valor de R calculado, para este caso el valor de las resistencias es igual con el fin de que la potencia que estas disipan sea similar, el único valor posible para las resistencias seria de 2*R.

Para la etapa de la filtración de la señal, se siguen las sugerencias definidas por el fabricante en donde se establecen los valores de las resistencias R3, R4 y el capacitor C1.

5.1.2. Canal de voltaje

Como se ha mencionado con anterioridad, la adaptación del canal de voltaje consta únicamente de una red de atenuación que en esencia es un divisor de voltaje, el valor del capacitor como en el caso anterior esta sujeto a las especificaciones del fabricante, la adaptación de este canal se presenta en la Figura 5.2:

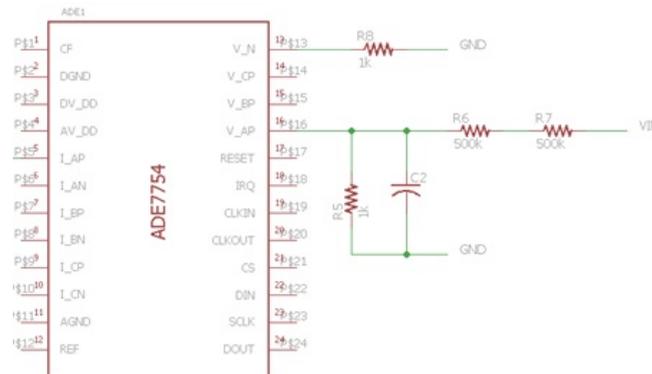


Figura 5.2: Canal de voltaje.

Fuente: elaboración propia.

5.2. Puerto USB

Para la conexión del puerto USB al microcontrolador se utilizan los pines D- y D+ (pines 23 y 24) del microcontrolador, estos pines se conectan a los pines 2 y 3 del puerto USB que corresponden a Data- y Data+ respectivamente. A través de este par de pines el microcontrolador envía y recibe datos. Los pines 1 y 4 del puerto USB van conectados a +5V y tierra respectivamente.

Teniendo en cuenta que el microcontrolador dispone de un solo puerto USB y considerando además que tanto la impresora como la sonda óptica deben ser conectados a través de este puerto, se debe configurar el dispositivo de tal manera que durante la medición habilite el puerto para que la sonda óptica pueda llevar a cabo su función, y una vez finalizada la medición pueda ser conectada la impresora para el envío de la información recogida durante el proceso de verificación.

En la Figura 5.4 se puede apreciar como se conectara el PIC18F4550 y el puerto USB:

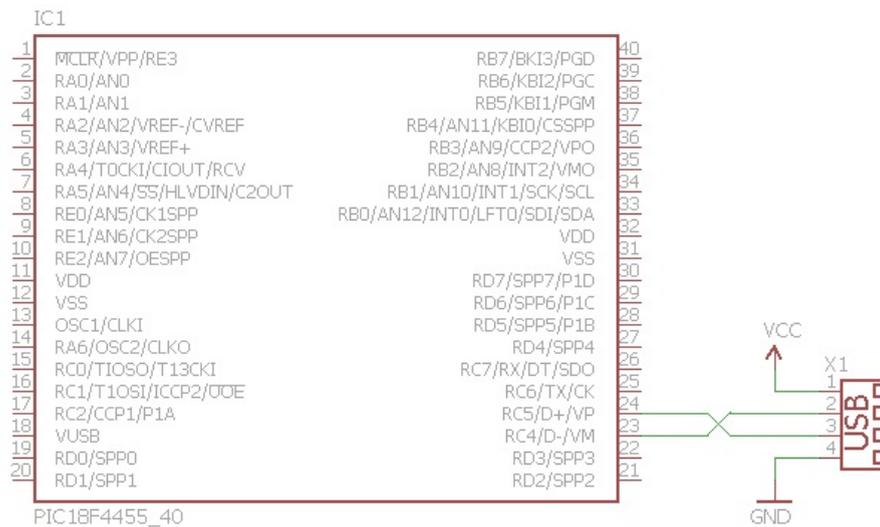


Figura 5.3: Conexión USB.

Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 5.1 se observa la forma en como están distribuidos cada uno de los pines del puerto USB y su respectiva descripción:

PIN	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
1	VCC	+5V
2	D-	Data -
3	D+	Data +
4	GND	Tierra

Tabla 5.1: Configuración de pines puerto USB.

Como se ha mencionado hasta el momento el puerto USB cumpliría dos funciones en el sistema, primero, recibir la señal proveniente del sensor fotoeléctrico y segundo permitir la comunicación con una impresora. Al inicio del documento se manifestó que el SVIMD se componía de cuatro elementos, la fuente de corriente eléctrica, el medidor patrón, una impresora y un dispositivo móvil, para los propósitos de este proyecto solo se contempla el diseño electrónico del medidor patrón especificando sus componentes y la interconexión de estos. La impresora como componente del SVIMD debe permitir la ejecución de instrucciones proporcionadas por el medidor patrón a través del microcontrolador.

Existen varios tipos de impresoras como lo son las impresoras de inyección de tinta, láser, matriz de punto o matricial, térmicas, de sublimación, de tinta sólida, de impacto, 3D y finalmente los plotters. Como bien se sabe hasta el momento, la función que cumple la impresora dentro del SVIMD es entregar un reporte al cliente, por esta razón y para este tipo de aplicaciones se sugiere hacer uso de impresoras tipo térmicas por su costo, portabilidad, economía de recursos y fácil configuración.

Actualmente existe una gran cantidad de fabricantes de impresoras térmicas con diferentes prestaciones, entre ellas las formas de comunicación (puerto serie, paralelo, USB, Ethernet y bluetooth).

Con referencia a la comunicación es importante acotar el segmento de este tipo de impresoras a impresoras que emplean un código abierto ya que facilitan al programador llevar a cabo esta comunicación haciendo uso únicamente de un código con instrucciones que define el propio fabricante para la interpretación de los comandos.

En el caso en que las impresoras no sean de código abierto, es decir que cada una de ellas maneje su propio protocolo de comunicación y haga uso de drivers exclusivos, se sugiere al desarrollador cargar al microcontrolador los drivers necesarios para el reconocimiento del dispositivo, afortunadamente ya existen drivers personalizados que se pueden utilizar en diferentes tipos de proyectos. Para llevar a cabo esta tarea se recomienda al programador visitar el portal web de Microchip fabricante del PIC en donde es posible encontrar una serie de ejemplos en donde se implementa esta comunicación con diferentes impresoras, se sugiere en especial revisar el ejemplo: “USB Host - Printer - Simple Full Sheet Demo”.

5.3. Módulo bluetooth

La comunicación entre el microcontrolador y el dispositivo bluetooth se realiza mediante el protocolo de comunicación serial RS232, para lograr dicha comunicación es necesario conectar el dispositivo bluetooth al módulo USART del PIC18F4550.

El modulo bluetooth se compone de seis pines, en la Tabla 5.2 se presenta una breve descripción de cada uno de ellos.

PIN	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
1	State	Estado
2	RX	Recepción
3	TX	Transmisión
4	GND	Tierra
5	VCC	+5V
6	KEY	Configuración

Tabla 5.2: Configuración de pines modulo bluetooth.

Los pines 1 (State) y 6 (Key) no deben ser conectados, la razón es que el primero solo indica la actividad del módulo (si está transmitiendo o no) y el segundo es para configurar el modulo en modo maestro o esclavo.

El pin RX del módulo se conecta al pin TX (pin 25) del microcontrolador y el pin TX del módulo se conecta al pin RX (pin 26) del microcontrolador, los pines VCC y GND del módulo se conectan a +5V y tierra respectivamente.

En la Figura 5.4 se observa cómo debe realizarse la conexión entre el microcontrolador y el módulo bluetooth.

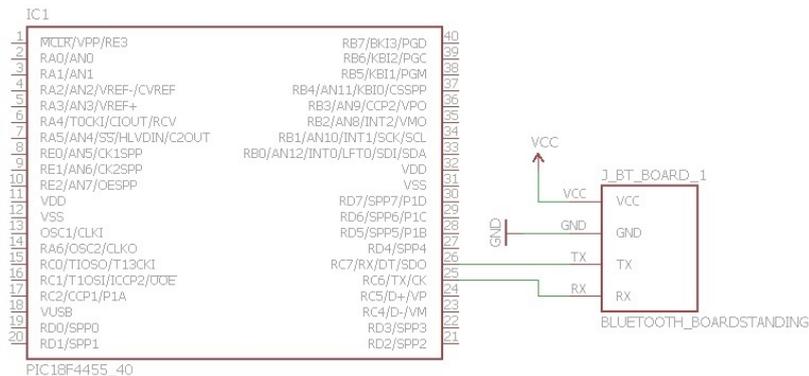


Figura 5.4: Conexión bluetooth.

Fuente: elaboración propia.

5.4. Conexión del ADE 7754 al PIC 18F4550

El microcontrolador se comunica con el ADE mediante el protocolo de comunicación SPI (Serial Peripheral Interface), este protocolo es usado para la comunicación entre circuitos integrados y sirve para controlar cualquier dispositivo que cuente con un puerto que acepte un flujo de bits regulado por un reloj, la transmisión de datos se realiza mediante 4 hilos: la señal de reloj, data in, data out y chip select.

Hay un dispositivo maestro que es el encargado de controlar a otro dispositivo esclavo, el dispositivo cuenta con un registro de desplazamiento que desplaza el ultimo bit del registro hacia un pin de salida (data out) mientras que en la posición del primer bit se reemplaza con el bit que se encuentra en el pin de entrada (data in), el desplazamiento de los bits se realiza con uno de los flancos de la señal de reloj y es controlada por el dispositivo maestro, la señal chip select se usa para informarle al esclavo que se va a realizar una transmisión, por lo general cuando la señal es un 0 se envía la información.

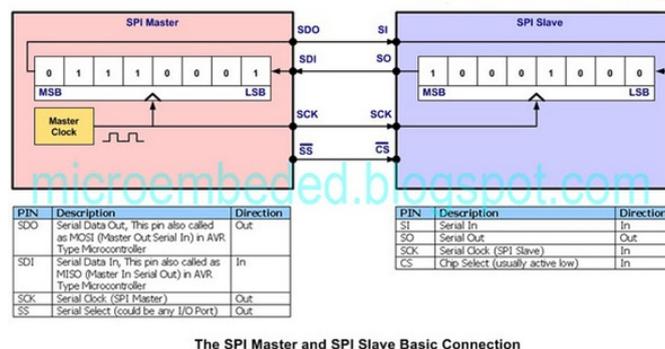


Figura 5.5: Transferencia de datos protocolo SPI.

Fuente: http://www.ermicro.com/blog/wp-content/uploads/2010/09/pic18_spi_00.jpg

Para la transmisión de información se configura el ADE como esclavo y el microcontrolador como el maestro.

El ADE 7754 tiene cuatro pines dedicados al protocolo SPI al igual que el microcontrolador, lo anterior se puede apreciar en la Tabla 5.3.

Señal SPI	ADE7754		PIC18f4550	
	PIN	NOMBRE	PIN	NOMBRE
Data in	22	DIN	33	SDI
Data out	24	DOUT	26	SDO
Señal de reloj	23	SCLK	34	SCK
Chip select	21	CS	7	SS

Tabla 5.3: Correspondencia de pines del ADE y PIC con el protocolo SPI.

Como el microcontrolador es el maestro no es necesario el pin chip select, este le envía un 0 al pin CS del ADE 7754 para poder realizar al comunicación SPI, el data out del microcontrolador se conecta al data in del ADE 7754 y viceversa. La señal de reloj que se encarga de la sincronización la proporciona el microcontrolador.

En la Figura 5.6 se presenta la forma en cómo se conectan los dos dispositivos, a través de los pines correspondientes:

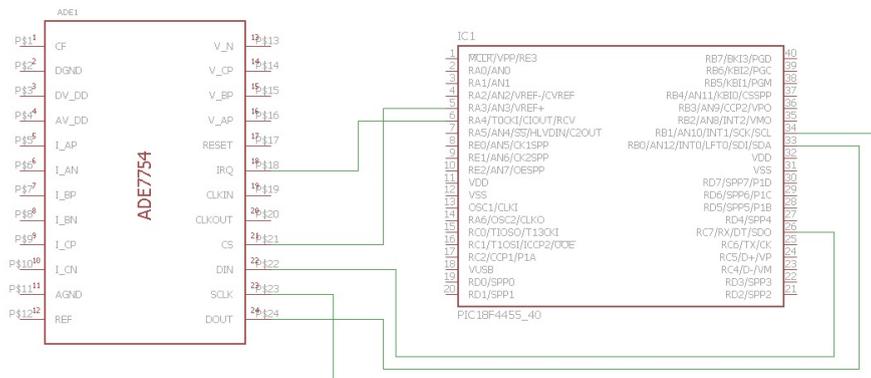


Figura 5.6: Conexión entre el ADE y PIC.

Fuente: elaboración propia.

5.5. Integración de los componentes

El montaje de todos los componentes del dispositivo patrón de medición de energía se hará sobre una placa de circuito impreso o PCB (del inglés: Printed Circuit Board), que

es una superficie no conductora que cuenta con caminos, líneas o buses de un material conductor las cuales van a permitir la conexión eléctrica de los dispositivos del sistema y además prestan un soporte fijo para estos por medio de la base; el material de las líneas por lo general es cobre y la base está fabricada con resinas de fibra de vidrio reforzada, cerámica, plástico, teflón o polímeros como la baquelita.

Existen diferentes herramientas software que permiten diseñar circuitos PCB, entre los más populares se encuentran: PCBwizard, Eagle y Altium Designer.

Sin embargo gracias a las facilidades que ofrece la herramienta EAGLE se aconseja hacer uso de esta para su posterior implementación.

EAGLE (Easily Aplicable Graphical Layout Editor) es un excelente software para realizar diseños de circuitos impresos y esquemas electrónicos, permite colocar los diagramas de los componentes con un clic además de un fácil enrutamiento mediante el uso de cables o etiquetas. EAGLE lo componen tres módulos: un diagramador, un editor y un autorouter que están integrados.

No obstante para el diseño de este tipo de circuitos es indispensable tener en cuenta una serie de normas y estándares que se refieren a la ubicación de los componentes, a la radiación de señales electromagnéticas, a las interferencias entre etapas de un mismo circuito, a las formas, al tamaño de las rutas y al manejo térmico; de este modo obtener un circuito confiable de fácil fabricación y ensamblaje.

Estas normas a las que se hace mención son en su mayoría emitidas por entidades internacionales como la IEC (Internacional Electrotechnical Commission) y la IPC (Association Connecting Electronic Industries); esta última es la máxima autoridad en lo referente al diseño de circuitos impresos en el mundo. El uso adecuado de estas normas garantiza un buen funcionamiento electrónico del producto final.

El primer paso del diseño, es realizar la interconexión de cada uno de los componentes, teniendo en cuenta las especificaciones de cada uno de ellos, para obtener el esquemático que será necesario para llevar a cabo el diseño PCB. En la Figura 5.7, se presenta el resultado de la interconexión de los componentes del sistema.

Previamente se mencionó que la alimentación del sistema se obtiene a partir de la red

eléctrica y que gracias al transformador AC/DC es posible suministrar la energía a la PicoUPS 100, de la cual se obtienen las salidas de 12 y 5 voltios, este último mediante el uso de un transformador. En la Figura 5.7, también se puede apreciar que el circuito dispone únicamente de la conexión a dicha fuente, pues ésta es un circuito independiente.

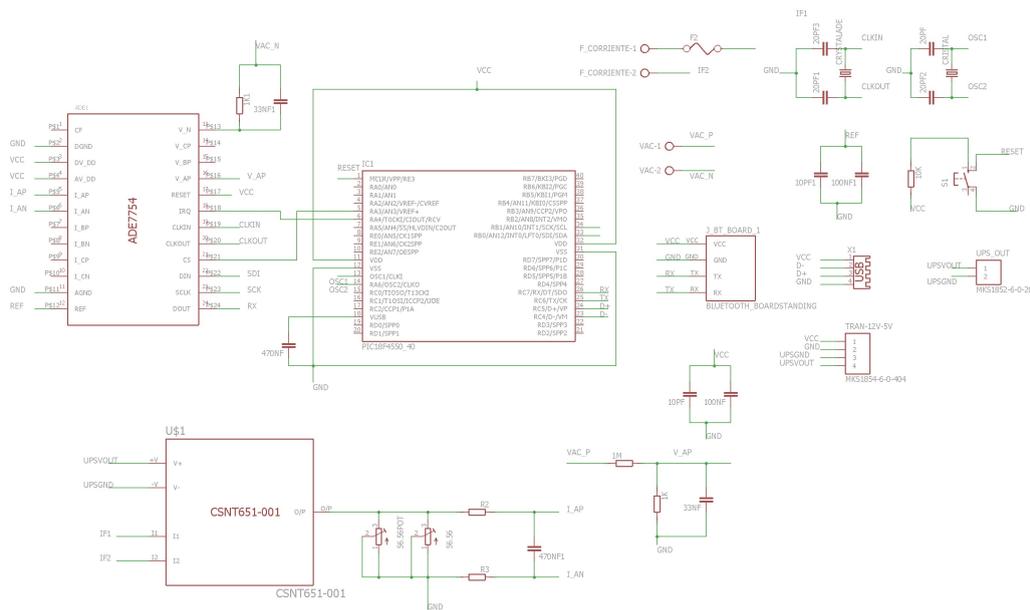


Figura 5.7: Conexión de todos los componentes del sistema.

Fuente: elaboración propia.

Después de que se realiza la conexión entre cada uno de los componentes, se procede a diseñar el circuito impreso para lo cual es necesario distribuir los elementos dentro de una placa. La distribución de los elementos debe ser de forma organizada y estratégica, para hacer un buen uso del espacio y para proporcionar las conexiones a los dispositivos externos de forma ágil y flexible esto con referencia al puerto USB, al punto de conexión con la PicoUPS 100 y a las líneas de voltaje y corriente.

En esta instancia es importante mencionar la complejidad que existe para elaborar una PCB de características industriales y comerciales, tal es la complejidad que existen diferentes organismos que se encargan de capacitar y de preparar personas para que puedan desarrollar este tipo de actividades, a nivel nacional existe el CIDEI - Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico de la Industria Electro Electrónica y TIC organismo reconocido oficialmente por COLCIENCIAS.

A continuación se dan algunas recomendaciones y reglas para el diseño de circuitos impresos PCB que deben ser considerados en el momento de implementar el esquemático de la Figura 5.7:

- Evitar los ángulos agudos en el cambio de dirección de una ruta y en las intersecciones de varias rutas.
- Cuando se opere con frecuencias mayores o iguales 1 MHz es importante no usar ángulos agudos.
- La separación de rutas paralelas, debe ser uniforme.
- En las uniones las rutas (nodos) deben ser radiales y no tangenciales (la ruta debe llegar al punto medio del nodo y no a ningún extremo)
- Los nodos siempre deben estar separados entre sí.
- En cada nodo solo pueden concurrir cuatro rutas como máximo, las cuales a su vez deben evitar formar ángulos agudos.
- Evitar el uso de rutas con longitudes considerables, entre más cortas las rutas mejor será el desempeño del sistema.
- El ancho de cada ruta está determinado por la corriente que puede soportar, por ejemplo, un grosor de la capa de cobre de 35 μm (el usual) 4mm de anchura de pista soportan de 8 a 10A máximo, 1,5mm para 2 a 4A y 0,2mm para 0,5A.
- La separación mínima de las rutas depende de las tensiones de trabajo, por ejemplo, para tensiones de trabajo pequeñas será de 0,3mm. Esta separación aumentará para tensiones de trabajo mayores.
- Debe existir un espacio de separación mínimo entre las rutas y el borde de la placa de 2 ó 3mm.
- Cuando los circuitos se componen por una parte digital y otra analógica, es necesario que existan dos líneas de masa independientes, una para cada parte. Estas líneas deben ser unidas en un solo punto.
- La anchura mínima de las rutas de alimentación debe ser de 1 ó 2mm, independientemente de la corriente que se vaya a consumir.

Para evitar las interferencias electromagnéticas (radiación, conducción, ruido, perturbación electromagnética, emisión, etc.) hay que tener en cuenta algunos parámetros de diseño como:

- No emplear zócalos para los circuitos integrados. En el caso en que sea necesario emplear zócalos, estos preferiblemente deben ser de bajo perfil.
- Emplear planos y rejillas de masa y positivo.
- Hacer uso de tarjetas multicapa.
- Realizar un trazado preferiblemente de reducida longitud para la ruta del reloj y procurar que siempre este rodeada de rutas de masa. También es importante hacer uso de relojes multifase.

Para eludir el acoplamiento entre rutas cercanas o evitar el Crosstalk (efecto de acoplamiento y perturbación que ocurre entre dos o más señales que se solapan o acoplan a causa de la cercanía de las rutas por las que pasa cada señal), hay que tener en cuenta:

- Las rutas de las señales deben ser de un ancho mínimo de 0,5mm.
- Emplear placas de fibras de vidrio, éstas son placas que tienen baja constante dieléctrica.
- Las rutas de reloj deben estar a una distancia considerable de las rutas portadoras de líneas de control de microprocesadores, reset, interrupciones, rutas de entrada/-salida, etc.
- Disminuir la longitud común entre rutas paralelas y aumentar la distancia de separación entre ellas.
- Evitar el trazado de rutas conectadas a circuitos lógicos cerca de las rutas conectadas a circuitos analógicos portadores de señales de bajo nivel.

Estas observaciones pueden ser profundizadas en cada una de las normas correspondientes al diseño de PCBs, a continuación se mencionan algunas de estas normas que se deben contemplar para diseñar circuitos impresos:

Normas IEC:

- EIEC 52-102; define los requisitos de las placas con circuitos en una o ambas caras sin orificios metalizados.
- EIEC 52-103; define los requisitos de las placas con circuitos en una o ambas caras con orificios metalizados.
- EIEC 52-104; plantea los requisitos para placas multicapas.
- EIEC 52(CO) 115; define los procedimientos para comprobación de circuitos impresos.
- EIEC 52-134; define como modificar la resistencia de los orificios metalizados ante cambios de temperatura.
- EIEC 52-135; establece el procedimiento de envejecimiento acelerado para comprobar la soldabilidad.
- EIEC 52-141; hace referencia al diseño y la aplicación de placas de circuito impreso.

Normas UNE:

- UNE 20621-3:1984; especifica el máximo de corriente permitida según el ancho de la ruta, recomienda los diámetros nominales con sus respectivas tolerancias, define los espesores del material aislante, además define la separación entre rutas.
- UNE 20524-1:1975; hace referencia a la técnica de los circuitos impresos, parámetros fundamentales y sistema de cuadrícula.
- UNE 20552/1C:1977; se refiere al diseño y utilización de componentes para cableados y circuitos impresos.
- UNE 20620-1:1993; define los materiales base para circuitos impresos y los métodos de ensayo.
- UNE 20621:1980; trata acerca de los circuitos impresos y métodos de ensayo.
- UNE 20621-4:1983; es una especificación para placas impresas de simple y doble cara con agujeros no metalizados.
- UNE 20621-6:1985; es una especificación para placas impresas multicapas.

- UNE 20621-7:1985; hace referencia a las placas impresas flexibles de simple y doble cara sin agujeros metalizados.

Normas DIN:

- DIN 40801, Parte 1; contempla lo referente a circuitos impresos, fundamentos y retículos.
- DIN 40801, Parte 2; contiene lo referente a circuitos impresos, fundamentos, orificios y espesores nominales.
- DIN 40803, Parte 1; habla sobre circuitos impresos, placas de circuito impreso, requisitos generales, comprobaciones y tablas de tolerancias.
- DIN 40804; contiene información sobre circuitos impresos y conceptos.
- DIN 41494; establece las formas de construcción para dispositivos electrónicos; placas de circuito impreso y medidas.

Normas IPC:

- IPC 2221: (Generic Standard on Printed Board Design), hace posible determinar el ancho de una ruta para una corriente deseada, según el espesor del cobre, la temperatura de operación, el material del sustrato y si se trata de rutas ocultas o de superficie con y sin máscara antisoldante.
- IPC 2222A: (Sectional Design Standard for Rigid Organic Printed Boards), estándar de diseño para tarjetas de circuitos impresos orgánicos rígidos
- IPC 2223C: (Sectional Design Standard for Flexible Printed Boards), estándar de diseño para tarjetas de circuitos impresos flexibles

Capítulo 6

Estructura mecánica del medidor patrón.

El grado de protección que ofrecen las estructuras mecánicas a los dispositivos electrónicos ha sido durante mucho tiempo considerado un tema de suprema importancia, ha sido tal la preocupación por dicho asunto que se han propuesto normas y estándares tanto a nivel nacional como internacional [12].

Actualmente existen diferentes normas que se encargan de esta clasificación, sin embargo vale la pena destacar dos de ellas, la norma IEC 60529 y el estándar NEMA cada uno de ellos clasifican las estructuras mecánicas o “carcasa” en función del nivel de protección que estas proporcionan a los componentes y sistemas electrónicos [12].

Hoy en día la norma que más se emplea a nivel mundial es la IEC 60529, que define el código de protección IP y bajo la cual se ha basado la selección de la estructura mecánica.

El código de protección IP es básicamente un código conformado por dos dígitos, el primero de ellos hace referencia a la protección contra el ingreso de elementos sólidos y el segundo contra el ingreso a elementos líquidos, esto se puede apreciar en la Figura 6.1.



Figura 6.1: Nomenclatura de la norma IP.

Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Grado_de_protección_IP

En la Tabla 6.1, es posible apreciar los niveles de protección contra el ingreso de objetos sólidos:

Primer Índice	Descripción	Alcance de la Protección
0	Sin protección	Sin protección a los equipamientos contra el ingreso de objetos sólidos externos.
1	Protección contra los cuerpos sólidos grandes	Protección contra el ingreso de objetos sólidos con un diámetro mayor que 50 mm.
2	Protección contra los cuerpos sólidos medianos	Protección contra el ingreso de objetos sólidos con un diámetro mayor a 12,5mm.
3	Protección contra los cuerpos sólidos pequeños	Protección contra el ingreso de objetos sólidos con un diámetro mayor a 2,5mm.
4	Protección contra los cuerpos sólidos muy pequeños (granulados)	Protección contra el ingreso de objetos sólidos con un diámetro mayor a 1mm.

Continua en la siguiente página.

Primer Índice	Descripción	Alcance de la Protección
5	Protección contra los residuos de polvo	Protección contra el contacto entre las piezas móviles interiores y el ingreso de polvo. El ingreso no se previene completamente, pero el polvo no puede penetrar en tales cantidades que puedan afectar al funcionamiento correcto del mismo.
6	Protección total contra la penetración de cualquier cuerpo sólido (estanqueidad)	Protección total contra el contacto de las piezas móviles interiores. Protección contra cualquier ingreso de polvo.

Tabla 6.1: Nomenclatura, primer dígito norma IEC 60529.

Ahora en la Tabla 6.2 se presentan los niveles de protección contra el ingreso del agua, que corresponden al segundo dígito del código IP:

Segundo Índice	Descripción	Alcance de la Protección
0	Sin protección	Sin ninguna protección especial por lo tanto el agua entrará en el equipamiento en poco tiempo.
1	Protección contra el goteo de agua vertical (condensación)	La caída vertical de gotas de agua no debe causar daños. No debe entrar el agua cuando se la deja caer, desde 200 mm de altura respecto del equipo, durante 10 minutos (a razón de 3-5 mm^3 por minuto)

Continúa en la siguiente página.

Segundo Índice	Descripción	Alcance de la Protección
2	Protección contra el goteo de agua inclinada verticalmente	La caída de gotas de agua con hasta un ángulo de 15° de la vertical desde cualquier dirección, no debe causar daño. No debe entrar el agua cuando se la deja caer, durante 10 minutos (a razón de 3-5 mm^3 por minuto).
3	Protección contra agua en spray	La caída de gotas de agua con hasta un ángulo de 60° de la vertical desde cualquier dirección, no debe causar daño. (lluvia)
4	Protección contra las salpicaduras de agua	Las salpicaduras de agua desde cualquier dirección, no deben de causar daños al interior.
5	Protección contra chorros de agua de cualquier dirección con manguera	Los chorros de agua producidos con manguera y desde cualquier dirección, no deben de causar daño al interior.
6	Protección contra inundaciones	La cantidad de agua que se introduzca, en casos de inundación esporádica o temporal, no debe dañar el interior, por ejemplo, los golpes de mar.
7	Protección contra la inmersión temporal	La cantidad de agua que se introduzca, en caso de sumergir el equipamiento en específicas condiciones de presión entre 1 y 30 minutos, no debe dañar las piezas internas del mismo.
8	Protección durante inmersión continua	El agua que se pueda introducir, si sumergimos el equipamiento al agua no deben producir daño en el interior.

Continúa en la siguiente página.

Segundo Índice	Descripción	Alcance de la Protección
9K	Protección contra la introducción de agua usando pistolas de limpieza de alta presión	El agua que se introduzca en el interior, producida al utilizar pistolas de limpieza con agua de alta presión, no deben causar daño interior.

Tabla 6.2: Nomenclatura, segundo dígito norma IEC 60529.

Con base en lo anterior se procede a determinar la estructura mecánica que proporcionará la protección al sistema electrónico.

La estructura mecánica que se ha seleccionado para brindar la protección al sistema electrónico es fabricada por BOPLA y corresponde a línea de producción BOCUBE.

Con más de 25.000 productos para componentes electrónicos, BOPLA, cuya sede se encuentra en la ciudad Westphalian al Este de Bünde (Alemania), es una de las más importantes empresas en la industria de recubrimientos (carcasas), pues pone a disposición de los clientes los conocimientos científicos más recientes y la más moderna tecnología. BOPLA ha estado en desarrollo y fabricación de recubrimientos y teclados de membrana sensible por más de 40 años.

La serie BOCUBE es una carcasa IP66 (proporciona protección contra la penetración de cualquier cuerpo sólido y protección contra inundaciones) e IP67 (proporciona protección contra la penetración de cualquier cuerpo sólido y protección contra la inmersión temporal) ideal para el montaje en pared, en entornos industriales, de oficina o en campo. La carcasa esta elaborada en dos materiales que son: ABS (acrilonitrilo butadieno estireno, un plástico muy resistente al impacto muy utilizado en automoción y otros usos tanto industriales como domésticos) y policarbonato, además esta disponible en once diferentes tamaños. BOCUBE tiene una tapa cautiva (transparente u opaca) con un área de teclado numérico de membrana de 2 mm de profundidad. La carcasa también incluye un cierre de bisagra de liberación rápida, que se puede abrir con un destornillador y cerrarse a mano.

Algunas características y cualidades de la carcasa se presentan a continuación:

- Disponible en once diferentes tamaños.
- Su diseño de pocas piezas integrales permite su montaje rápido y fácil, y sin herramientas especiales.
- PCB y paneles frontales se pueden montar en la tapa y en la base.
- Área de teclado numérico de membrana rebajada.
- Zona de montaje amplia para conectores, casquillos y elementos de funcionamiento.
- Cierre de bisagra de liberación rápida (la carcasa también se puede atornillar).
- Elaborada en policarbonato (PC) UL 94 V0 (pirorretardante y autoextinguible) con espumado en la junta.
- Protección IP66 / IP67.
- Se puede equipar un sello de plomo para proteger de accesos no autorizados.
- Soportes de pared disponibles por separado y acoplados en los orificios de la base de la carcasa.
- BOCUBE es una carcasa construida únicamente en plástico, lo que facilita su reciclaje

Es importante resaltar, que la estructura fue seleccionada con base en los requerimientos mecánicos del sistema, y con la información que se acaba de suministrar, se puede apreciar que se ajusta bastante bien a dichos requerimientos.

La carcasa BOCUBE se presenta en la Figura 6.2:



Figura 6.2: Carcasa BOCUBE.

Fuente: <http://phoenixmecano.com/product-line/bocube/>

Gracias a que la carcasa cuenta con un área bastante extensa, es posible realizar los ajustes que se desean unicamente teniendo en cuenta la ubicación de los elementos de tal manera que empaten con cada uno de los conectores. Para el presente trabajo se requiere de la conexión de los canales de voltaje, corriente, ranura para el puerto USB y finalmente el conector a la fuente de alimentación, lo anterior se puede apreciar en la Figura 6.3.

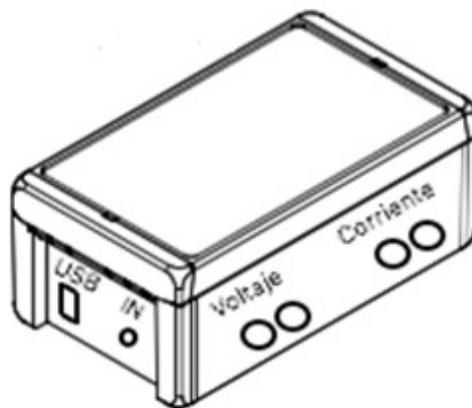


Figura 6.3: Carcasa BOCUBE, esquema de las conexiones.

Fuente: www.bopla.de

En la Figura 6.4, se hace una representación gráfica de cómo sería la conexión de las líneas de corriente y de voltaje, claro esta que cada una de líneas las cuales se componen de un

solo cable (los cables azul y verde que se ven en la Figura 6.4 son tan solo una manera de representar una línea).

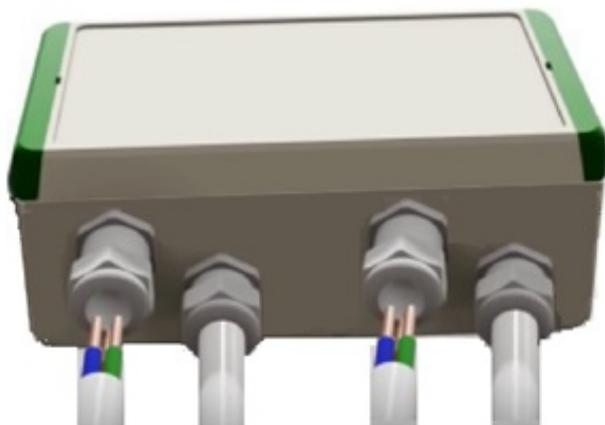


Figura 6.4: Carcasa BOCUBE, conexión de los canales.

Fuente: www.bopla.de

Con referencia a la instalación del sistema en el interior de la carcasa, es importante mencionar la facilidad y comodidad al momento de incorporar las PCB, pues en su interior cuenta con diferentes puntos de instalación de circuitos impresos a través de tornillos que brindan la estabilidad suficiente al sistema. En la Figura 6.5 se presenta una sección de la carcasa en la cual se pueden observar los diferentes puntos distribuidos tanto en la base como en la tapa:



Figura 6.5: Sección de la carcasa BOCUBE.

Fuente: www.bopla.de

La Figura 6.6 muestra la instalación de una PCB en la tapa de la carcasa, simplemente haciendo uso de un par de tornillos.

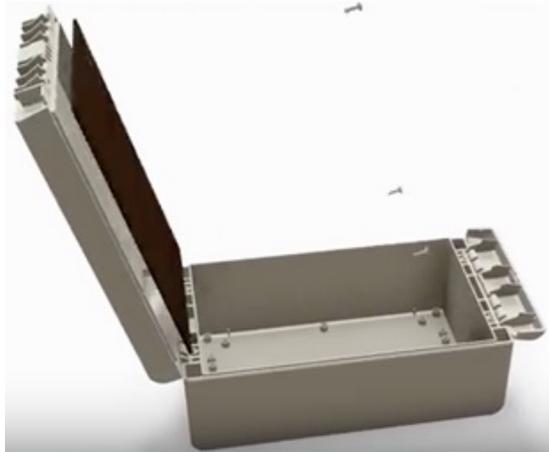


Figura 6.6: Instalación PCB en la tapa la carcasa BOCUBE.
Fuente: www.bopla.de

En contraste se presenta la instalación de una PCB en la base de la carcasa:

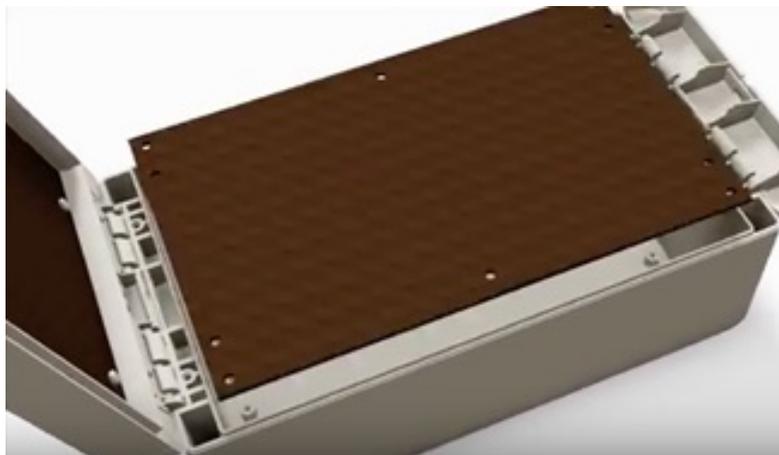


Figura 6.7: Instalación PCB en la base de la carcasa BOCUBE.
Fuente: www.bopla.de

La carcasa BOCUBE de BOPLA cuenta con los mas altos estándares de calidad, su versatilidad y confortabilidad para llevar a cabo diferentes conexiones y adaptaciones resulta muy atractiva para los propósitos del presente proyecto.

Debido a que la carcasa no cuenta con una debida protección electromagnética, se recomienda el uso de un blindaje para evitar las posibles interferencias que puedan surgir por la exposición del dispositivo a estos campos que se encuentran en el ambiente, y que son originados tanto por fuentes naturales como artificiales.

El blindaje tiene como objetivo evitar el ingreso de campos tanto eléctricos, magnéticos y electromagnéticos, existen varios tipos de apantallamientos o blindajes que sirven para hacer frente a estos campos indeseados, a continuación se presentan algunas técnicas utilizadas para evitar la presencia de este tipo de campos:

Juntas elásticas conductoras: estas juntas se usan cuando se ve interrumpida la superficie constante del conductor y puede ocurrir si la caja presenta puertas o es una caja que tiene una tapa que sella el compartimento, en estos sectores es necesario el uso de estos elementos para que el apantallamiento no pierda sus propiedades garantizando un buen contacto entre tapa y caja, evitando de esta manera la intrusión de flujos de campos que puedan producir interferencias [13].

Blindaje de cajas de plástico (plásticos conductores): generalmente el material de las carcasas que resguardan los dispositivos electrónicos en su mayoría son plásticas y debido a que estos materiales no son conductores no ofrecen una protección contra campos electromagnéticos, para solucionar este problema es necesario convertir el plástico en conductor, existen dos formas para conseguirlo: inyectar carga conductora metálica cuando se está rellinando el molde de la carcasa con el plástico o forrando el contenedor con un revestimiento metálico [13].

Galvanizado selectivo (Electrodepósito): para convertir una carcasa plástica en conductora también se puede lograr depositando dentro de la superficie plástica un galvanizado selectivo, el cual es un proceso electrolítico que consiste en introducir metales o aleaciones mediante electrólitos, los metales que más se usan son, níquel, plata, oro, cobalto cromo, platino, entre otros, independientemente del metal a usar usualmente se deposita cobre debido a su alta propiedad conductora [13].

Pinturas conductoras: se pueden encontrar pinturas hechas a base de materiales conductores como la plata, níquel, grafito y cobre, que pueden adherirse fácilmente a superficies plásticas y proporcionando así una protección contra campos electromagnéticos, se prefieren este tipo de pinturas elaboradas a base de níquel ya que proporcionan una buena protección y es resistente a la corrosión a diferencia del cobre y la plata que se oxidan fácilmente además de tener un costo más elevado [13].

Láminas conductoras: también es posible blindar la carcasa plástica haciendo uso de láminas conductoras, para ello se adecua la lámina a las dimensiones deseadas y se la adhiere en las paredes internas del recinto, este tipo de blindaje tiene problemas ya que en los bordes se pueden producir fugas, siendo este tipo de blindaje de preferencia para cuestiones de experimentación o para cubrir cuartos, por lo general el material de estas laminas es de cobre o aluminio [13].

Para el presente proyecto se recomienda el uso de pinturas conductoras ya que se puede alcanzar una alta protección de hasta 70 dB, además es el método más sencillo de aplicar ya que no se requiere de alguien experimentado para poder hacer el recubrimiento de la carcasa. Tanto en el mercado nacional como internacional existen diferentes fabricantes que ofrecen este tipo de pinturas, a continuación se nombran algunos de ellos que servirán de referencia al momento de proteger la carcasa:

- YSHIELD HSF54, se compone de partículas de carbón contenidas en un acrílico puro de alta calidad, ofrece una protección de hasta 44 dB.
- Revestimiento de níquel eléctricamente conductor 3801, es usada para el blindaje de interferencias electromagnéticas y de radiofrecuencia, además evita la formación de estática.
- Shildoseal 3980, crea una conexión eléctrica y térmica conductiva apropiada para el apantallamiento de interferencias electromagnéticas.

En el Anexo A, se presenta una propuesta financiera de los costos de cada uno de los elementos incluido el costo de la carcasa BOCUBE.

Capítulo 7

Conclusiones y trabajos futuros

7.1. Conclusiones

- Gracias al uso de la herramienta de captura de requerimientos Uexceler, fue posible determinar los requisitos micro y macro del proyecto, pues permitió identificar desde las funcionalidades y componentes más esenciales, hasta los elementos más robustos, posibilitando el diseño de un dispositivo robusto y compacto.
- El dispositivo electrónico patrón fue diseñado con base en la problemática y en las necesidades referentes a la verificación en sitio de medidores de energía eléctrica. Con la selección de los componentes de alta exactitud y la debida configuración se espera que el dispositivo haga frente a los inconvenientes con los sistemas de medición actuales y que satisfaga las necesidades mencionadas durante el desarrollo del proyecto.
- Determinar los componentes a partir de un gran número de posibilidades, ha permitido el diseño de un sistema fundamentado en dispositivos de última tecnología y a la misma vez dispositivos de bajo costo, pero que mantienen un nivel de calidad y de precisión bastante elevado.
- La incorporación de una fuente de alimentación tipo UPS, dota al sistema de un valor agregado frente a los dispositivos que hoy en día son desarrollados por diferentes fabricantes, y que hasta el día de hoy no proponen una solución efectiva en cuanto al consumo excesivo energético de estos dispositivos.

- La elección de la estructura mecánica o carcasa se fundamentó en la investigación de los estándares y normas nacionales e internacionales referentes a la protección de los dispositivos electrónicos, de este modo se pudo definir esta envoltura o recinto que además de ofrecer un alto grado de protección (IP 66 e IP 67) permite la fácil adaptación de componentes y la fácil adecuación de su estructura en el caso de que en un futuro se piense en incorporar nuevas funcionalidades al dispositivo, tal es el caso de teclados, pantallas LCD, etc.

7.2. Trabajos futuros

- Siendo consecuentes con el presente proyecto, el primer trabajo futuro que resulta es el de desarrollar el constituyente lógico del sistema, es decir, configurar la estructura electrónica mediante el desarrollo software de la misma. Este desarrollo implica la configuración del ADE 7754, de la sonda KMK 116, del puerto USB, del bluetooth y del PIC 18F4550 con el fin de obtener las señales originadas por el integrado de medición y por la sonda, para realizar los cálculos basados en la NTC 5900 y determinar el porcentaje de error de la medición y finalmente para exportar dichos resultados hacia los dispositivos bluetooth e impresora. Para la transmisión de los datos a la impresora, se sugiere el estudio de los ejemplos proporcionados por Microchip, en donde se consigue la controlar la impresora desde un PIC, sin eludir los distintos ejemplos que se encuentran en los distintos portales de desarrolladores.
- En la misma línea cronológica, es importante realizar pruebas con el transductor de corriente CSNT651-001 estas pruebas deben variar en amperaje, contenido armónico y temperatura, para que sea posible determinar la respuesta del dispositivo ante la variación de estos parámetros, y de esta manera definir las condiciones de medida del dispositivo.
- Integrar el componente físico y lógico para obtener el sistema electrónico patrón, este además debe ser sometido a pruebas que permitieran determinar el porcentaje de error en la medición y definir la clase de exactitud del mismo.
- Si se desea ahondar en el desarrollo software, es importante el desarrollo de una aplicación web o móvil que proporcione al usuario la información contenida durante cada verificación y que posibilite además ejercer el control sobre el dispositivo.

Anexo A

Propuesta financiera de costos y materiales

En la Tabla 7.1, se presenta el costo de los materiales necesarios para la elaboración del dispositivo electrónico patrón, el precio de cada componente esta sujeto al cambio del dólar:

DISPOSITIVO	CANTIDAD	PRECIO (PESOS)
Circuito integrado de medición de energía ADE 7754	1	\$ 35.250
Módulo Bluetooth HC 05	1	\$ 26.500
Sonda Óptica KMK 116	1	\$ 287.750
Microcontrolador PIC 18F4550	1	\$ 17.000
Fuente de alimentación inteligente PicoUPS-100	1	\$ 88.250
Transformador AC/DC LS01-15B15SS	1	\$ 29.300
Transformador DC/DC 12V a 5V CPT-C5	1	\$ 23.500
Transductor de corriente CSNT651-001	1	\$ 153.200
Carcasa IP 66/IP 67 BOCUBE 96016324	1	\$ 103.700
Total		\$ 764.450

Tabla 7.1: Propuesta de costos y materiales.

En la tabla se incluyen únicamente los componentes principales, no se incluye el precio de componentes como resistencias y capacitores.

Ademas es importante aclarar que el costo del sistema esta sujeto a variaciones según el comportamiento del dólar, y podría presentar incrementos en su precio en el caso de ser necesario la importación de algunos de estos elementos.

Bibliografía

- [1] Comisión Federal de Electricidad, “Wattímetros monofásicos y polifásicos electrónicos, clase de exactitud 0,5,” Comisión Federal de Electricidad, Tech. Rep., 2006. [Online]. Available: <http://lapem.cfe.gob.mx/normas/pdfs/o/GWH00-78.pdf>
- [2] N. R. Velasco Blanco, “Potencia eléctrica en corriente alterna,” 2003, [Boletín Electrónico; accedido el 19-08-2015]. [Online]. Available: <http://www.metas.com.mx/guiametas.html>
- [3] D. A. Saucedo Martínez and J. L. Taxis Villagran, “Factores que afectan la calidad de la energía y su solución,” Trabajo de Pregrado, Instituto Politécnico Nacional, Mexico D.F., Mexico, 2008.
- [4] W. Mack Grady and R. J. Gilleskie, “Harmonics and how they relate to power factor,” in *EPRI Power Quality Issues & Opportunities Conference*, San Diego, CA, November 1993.
- [5] D. M. Heredia Londoño, “Desarrollo de una guía enfocada a medidores de energía y conexiones de medidores,” Trabajo de Pregrado, Universidad Tecnológica De Pereira, Pereira, Colombia, 2013.
- [6] R. D. Noguera Redín, “Repotenciación de una mesa calibradora de medidores de consumo eléctrico,” Trabajo de Pregrado, Universidad del Cauca, Popayán, Colombia, 2014.
- [7] C. E. de Metrología, “Vocabulario internacional de metrología conceptos fundamentales y generales, y términos asociados,” Centro Español de Metrología, Tech. Rep., 2012.
- [8] I. C. de Normas Técnicas y Certificación, “Verificación inicial y posterior de medidores de energía eléctrica,” no. 5900, 2011.

- [9] G. E. Hernández Gonzalez, “Diseño y construcción de un sistema integrado de medición de energía monofásica de uso residencial (S. I. M. E. N.) version 2,” Trabajo de Pregrado, Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga, Colombia, 2008. [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/123456789/195>
- [10] D. Gauna and C. Martinez Gonzales, “Aplicación del método morphol,” in *Seminario de Prospectiva y Pensamiento Estratégico*. Instituto de Investigación en Prospectiva y Políticas Publicas-INTA, 2014.
- [11] W. Koon, “Nuevos desarrollos en sensores de corriente en medidores de estado solido,” Analog Devices, Tech. Rep., 2001. [Online]. Available: http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/technical-articles/16792408482720MI_Issue3_2001_pg52-53_analog_Spanish.pdf
- [12] C. A. Galizia, “Los grados de protección IP en los equipos e instalaciones y su interpretación según IEC y NEMA,” COPAIPA - Revisiones Eléctricas, Tech. Rep. [Online]. Available: http://electrico.copaipa.org.ar/attachments/102_Interpretaci%C3%B3n%20de%20los%20Grados%20de%20Protecci%C3%B3n%20seg%C3%BAn%20IEC%20y%20NEMA.pdf
- [13] J. Balcells, F. Daura, R. Esparza, and R. Pallás, *Interferencias electromagnéticas en sistemas electrónicos*. Marcombo, 1992.