

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN Y SUPERVISIÓN DOMÉSTICO
PARA MEDICIÓN DE ENERGÍA ACTIVA EN SISTEMAS MONOFÁSICOS.**

AUTOR: CHRISTIAN DAVID ROBAYO DIAZ

**MONOGRAFIA TESIS DE GRADO DIRIGIDA PARA OPTAR AL TITULO DE
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**DIRECTOR: EDWIN FRANCISCO FORERO GARCÍA
INGENIERIA ELECTRONICA**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BOGOTÁ, COLOMBIA
ENERO, 2016**

Edwin Francisco Forero
Docente
Tutor Tesis de grado
Facultad Ingeniería Electrónica

Christian David Robayo Diaz
Estudiante
Facultad Ingeniería Electrónica

TABLA DE CONTENIDO

1. Título.....	5
2. Problema.....	6
3. Antecedentes.....	8
4. <u>Justificación</u>.....	10
5. <u>Objetivos</u>	12
5.1 <u>Objetivo General</u>	11
5.2 <u>Objetivos Especificos</u>	11
6. Factibilidad.....	13
7. Marco Teórico.....	14
7.2 Sensor o transductor de Corriente	14
7.2.1 Sensor de corriente resistivo	14
7.2.2 Transformadores de corriente	16
7.2.3 Sensores de efecto hall	16
7.2.4 Sensor de bobina Rogowsky	18
7.2.5 Selección de sensor de corriente	22
7.3 <u>Arquitectura ANDROID</u>	23
7.4 <u>Normatividad</u>	22
7.5 Arquitectura Microcontrolador LPC23XX.....	24
8. Diseño Metodológico.....	31
8.1 Metodologia de la investigacion y estado del arte.....	31
8.1.1 <u>Documentacion</u>	31
8.1.2 Recoleccion de recursos bibliograficos	31
8.2 Diseño e implementacion del sistema de adquisición de datos	31
8.2.1 Tecnica de recoleccion de datos	32
8.2.2 Pruebas de caracterización.....	27
8.3 Diseño e implementación del sistema de procesamiento y almacenamiento de datos	37
8.3.1 <u>Procesamiento de informacion</u>	37
8.3.2 <u>Instrumentos</u>	40
8.3.3 <u>Tecnicas de analisis</u>	40
8.3.4 <u>Diseño de algoritmos</u>	41
8.4 <u>Diseño de almacenamiento y visualización de la información</u>	46

8.5 <u>Informe final</u>	46
9. Administración del proyecto	47
10. Ejecución del proyecto	48
11. Resultados	59
12. Conclusiones	66
13. Bibliografía	68

Titulo

DISEÑO DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN Y SUPERVISIÓN
DOMÉSTICO PARA MEDICIÓN DE ENERGÍA ACTIVA EN SISTEMAS
MONOFÁSICOS.

PROBLEMA

La demanda de energía eléctrica en Colombia en este último año que pasó ha crecido en un 4.4% [12], principalmente por razones domésticas como el crecimiento de negocios informales, implicando la implementación de equipos refrigeración y máquinas con motores de inducción que en algunos casos generan niveles de energía reactiva elevados; además debido al cambio climático sufrido en los últimos años se ha visto obligado el uso de sistemas acondicionados para el ambiente tales como ventiladores y aires acondicionados principalmente en hoteles y zonas residenciales. En tal sentido la relación del consumo de energía eléctrica y el calentamiento global, particularmente en Colombia va ir potencialmente en aumento.

En este orden de ideas se hace prescindible proveer al consumidor de energía eléctrica de la forma más eficiente con información útil de su consumo; que hasta el momento o en la actualidad se han utilizado herramientas eficaces y flexibles, tales como ver su historial de energía y facturación del servicio especificado; pero que aún aíslan al usuario del entorno local es decir del sistema eléctrico residencial, de tal manera que puedan ser supervisada por él mismo, resaltando en un sentido importante que este sistema mencionado no necesariamente debe ser invasivo al entorno eléctrico existente, es decir a topologías que ya estén implementadas en el sistema doméstico o residencial.

Por estas razones, este proyecto de grado, plantea el diseño y la construcción de un sistema de adquisición y de supervisión doméstico implementado desde la fase de adquisición de datos hasta la interfaz hombre-máquina, teniendo en cuenta las limitaciones del entorno, refiriéndose particularmente a las instalaciones eléctricas existentes. Utilizando protocolos de comunicaciones convencionales como por ejemplo TCP/IP de tal forma que se aprovecha la infraestructura ya instalada.

En síntesis la formulación del problema radica en incluir de forma funcional, amigable y sencilla al usuario de energía eléctrica residencial a supervisar su consumo respectivo. De tal

manera ¿cómo incluir un diseño funcional e implementado de supervision y monitoreo de consumo de Energia Electrica de uso domiciliario para el mismo?.

En este orden de ideas y conceptos básicos de la formación académica de la Universidad Santo Tomás el trabajo propuesto por la gestión de energía y ahorro sustancial de la misma, contiene componentes humanistas que direccionan a los profesionales con un pensamiento ético, creativo y crítico; visto en varios aspectos como son el comparar y clasificar una población en su comportamiento de consumo de energía eléctrica e interpretar cómo interviene de forma invasiva al medio ambiente y describiendo así analogías referentes a sus efectos, tales como por ejemplo las emisiones de CO₂, utilización desmedida de recursos naturales; que en conclusión están relacionados con las tecnologías que el ser humano dispone diariamente, en consecuencia el control de dichas tecnologías llegan a un nivel distribuidor y no consumidor.

ANTECEDENTES

En Colombia se han enfrentado estrategias para el uso racional de la energía en las cuales se elaboraron modelos de gestión energética para el sector productivo, que han sido aplicados a las empresas. De los que más se han destacado son:

- Modelo de control del consumo energético
- Guía de buenas prácticas para el uso racional de la energía para el sector de las pequeñas y medianas empresas
- Modelo de Mejora Continua de la Eficiencia Energética
- Modelo de Gestión Integral de la Eficiencia Energética en ambientes competitivos

Entre los años de 2001 y 2005 se hicieron análisis de los anteriores modelos de gestión energética, comprobando que la relación de los conceptos técnicos y organizativos debe ir de la mano y en completa comunicación para una eficiencia en este caso del sector productivo.

A partir de estos modelos se han desarrollado aplicaciones, análisis y algunos desarrollos para puntualizar en diferentes campos tales como análisis de consumo en el medio de consumo de energía eléctrica, un avance importante por ejemplo hecho en 2012 por ingenieros de la Universidad de Santander al caracterizar de cierta forma detallada las topologías de gestión y supervisión del consumo de energía eléctrica en el sector residencial existentes en Colombia y como pueden abarcarse de forma eficaz [8]. Lo anterior que aunque importante no deja de ser un enfoque analítico y teórico, que otros han tomado como modelo y han mostrado desarrollos como hacer un simple medidor de potencia activa para un sistema monofásico desarrollado en 2005 pero con limitaciones en sus comunicaciones hasta al hacer sistemas domóticos complejos con sistemas SCADA y protocolos de comunicaciones

industriales para control de muchas variables en el sistema de gestión desarrollado por ingenieros de Pereira en 2013, pero que al ser tan sofisticado se necesita de una gran infraestructura y de costos elevados que siguen planteando el argumento de aislar al usuario común del entorno de gestión o supervisión del consumo de energía eléctrica[7].

En consecuencia en el orden de ideas propuestas en los últimos 10 años, la Universidad Santo Tomás y específicamente la facultad de Ingeniería Electrónica en compañía del semillero de Eficiencia Energética, se han desarrollado investigaciones del tipo de sostenibilidad medioambiental, mejorando la eficiencia en cuanto energía distribuida dentro de la institución, además de innovación de energías renovables pero que en síntesis no se ha adentrado en el concepto de redes inteligentes, que es el la iniciativa del proyecto de grado.

JUSTIFICACIÓN

Inicialmente la Energía como base de cualquier tipo fenómeno físico tuvo un equilibrio ambiental en sus diferentes estados, pero al empezar a redescubrir el uso de la misma y de cierta forma a canalizar la energía sin algún tipo de control, en el caso de la energía eléctrica cuando se dispuso de la transformación de los fenómenos físicos, como la energía cinética, potencial, etc..., nunca se tuvo la importancia de la eficiencia de los sistemas en relación al medio ambiente por lo que en la formación ética profesional como ingeniero electrónico hace que desarrolle una conciencia de pertenencia con el medioambiente e ideas innovadoras que aumenten índices de eficiencia en dichos sistemas. Seguido de lo anterior en el concepto personal he creado hábitos de vital importancia para aportar como persona al uso racional de dichos sistemas; por lo tanto la concepción personal y profesional contribuye a que dichos sistemas de forma crítica, creativa y ética, le demos un control de los mismos y en consecuencia de forma eficiente desarrolle disminución de afectaciones ambientales tales como disminución de niveles de CO₂, ahorro de recursos naturales tales como el agua que es directamente el más afectado; generando claramente una descripción de como un agente particular como el ser humano, que en grandes masas, desarrolla una inestabilidad para el sistema ambiental, obligando a usar estrategias de gestión y supervisión particular para disminuir dichas afectaciones, teniendo en cuenta que las alternativas tecnológicas para dichas estrategias deben garantizar una solución no invasiva del sistema y sin afectaciones secundarias.

En razón de causa de lo expuesto anteriormente hace que la misión de la Universidad Santo Tomás fundamentada en la formación integral al profesional, aportando acciones y procesos de enseñanza-aprendizaje, investigación y proyección social; con lo anterior mencionado hace que de forma hereditaria acojan problemáticas enfocadas interdisciplinariamente e interviniendo directamente en los semilleros de investigación para un crecimiento homogéneo del pensamiento científico y ético, del medio en que vivimos y contribuir como comunidad tomasina al ser un modelo de eficiencia a la actual sociedad, infundiendo de tal manera en cada sujeto en particular una ética compartida entre el profesional y la sociedad de consumo.

En consecuencia como modelo de estudio se toma la empresa de energía CODENSA cuyos clientes afiliados al servicio de energía eléctrica residencial de Bogotá durante los últimos diez años han tenido un comportamiento peculiar en cuanto a la oferta y la demanda; se ha visto disminuida aproximadamente un 4.5%, por diferentes motivos, como por ejemplo la llegada del gas natural, este estudio hecho por la EEB (Empresa de Energía de Bogotá) y FEDESARROLLO en 2013 refleja que en los siguientes 15 años la oferta de energía eléctrica va ser estable, pero es debido a nuevas estrategias de mercadeo tales como créditos fáciles para usuarios, específicamente usuarios de estratos 2 y 3, dándoles facilidades de pago a electrodomésticos y así viéndose beneficiados en la demanda del servicio de energía eléctrica.

De tal modo que los usuarios de los estratos del 2 al 4 son los de mayor demanda del servicio de energía eléctrica, pero actualmente las empresas de energía en Colombia se ven afectadas por la Ley 697 de 2001 o ley URE (Uso Racional y Eficiente de la Energía), por lo que la regulación de la energía es vital, por motivos de reducción de costos, reducción de niveles de afectación ambiental, conservación de los recursos naturales, la implementación de nuevas tecnologías en productos y fuentes alternas de energía, tales como iluminación led y semiconductores de potencia, y lo más importante que en conjunto de todo lo anterior la empresa de distribución de energía pueda incrementar la productividad y competitividad.

Es decir que el ahorro de energía eléctrica específicamente desde los niveles de usuario beneficia desde el medioambiente como a la empresa de distribuidora de energía. Existen ya antecedentes domóticas en Colombia en supervisar y tener un cierto control del consumo de energía eléctrica pero que al entorno del usuario se hace incomprensible e inaccesible, por ende se hace útil diseñar un sistema de adquisición y supervisión de consumo de energía eléctrica básico, cumpliendo premisas básicas como son el ahorro, confort y seguridad, además agregando que pueda ser utilizado con un protocolo funcional, estable y práctico refiriéndose desde un punto de vista del fácil mantenimiento y accesibilidad.

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo General:

- 5.1.1. Diseñar e implementar un sistema de supervisión y monitoreo de consumo de Energía Eléctrica de uso domiciliario.

5.2. Objetivos Específicos:

- 5.2.1. Implementar sistema de adquisición de consumo eléctrico basado en un microcontrolador.
- 5.2.2. Implementar arquitectura requerida para la adquisición y transmisión de datos para el sistema diseñado.
- 5.2.3. Construir interfaz para reportes y almacenamiento de datos sobre plataforma ANDROID.

6. FACTIBILIDAD

Dado que el sector energético en Bogotá es un sistema integrado el cual los consumidores del servicio solo pueden participar como producto final del mismo, pero la retroalimentación del sistema en este punto de la cadena de producción de energía eléctrica, sólo está disponible en instalaciones de procesos industriales tales como fábricas, edificaciones inteligentes, etc...., como ingeniero de la Universidad Santo Tomas podré abordar cada objetivo propuesto para la ejecución del proyecto en curso como son la organización y la ejecución del mismo.

Planteado lo anterior la factibilidad técnica, implica un monitoreo o supervisión de energía eléctrica frente al consumidor, de tal manera resultaría más económico a medida que se sepa cómo ahorrar el consumo de energía, y desde el punto de vista de ingeniería conceptual y detallada que su implementación y puesta en marcha sea en el menor tiempo posible, sumándole a esto dispositivos de bajo costo y eficientes frente al sistema.

7. MARCO TEORICO

7.1 SENSORES DE CORRIENTE

Debido al amplio rango de variación de la corriente, se hace necesario desarrollar sensores que detecten el más leve cambio de esta. El sensor de corriente que se requiere debe tener un rango dinámico de medición y ancho de banda amplio, debido al contenido de armónicos de la onda de corriente.

En el mercado la variedad de sensores de corriente es amplia así como los principios de funcionamiento con los cuales operan. Las tecnologías para medición industrial de corrientes más comunes son:

- Shunt de corriente de baja resistencia.
- Transformador de corriente.
- Sensor de efecto Hall.
- Bobina Rogowski.

Además, últimamente se están aplicando técnicas con fibra óptica basadas en el efecto magneto-óptico de Faraday.

7.1.1 Shunt de corriente de baja resistencia. Es la solución popular de menor costo, ofrece una lectura sencilla con buena exactitud. Un modelo simple para este dispositivo se muestra en la Figura 1.

Para realizar medición de corriente con alta precisión, se debe tener en cuenta la inductancia parásita del shunt, que es del orden de sólo unos pocos nH. Esto afecta la magnitud de la impedancia del shunt solo a frecuencias relativamente altas. Sin embargo, su efecto sobre la fase es bastante importante, incluso a frecuencia de línea, porque puede causar errores notables con FP bajo.

Sin embargo, debido a que el shunt de corriente es fundamentalmente resistivo y genera calor en proporción al cuadrado de la corriente, este autocalentamiento es inconveniente para usarlo con medidores de alta corriente.

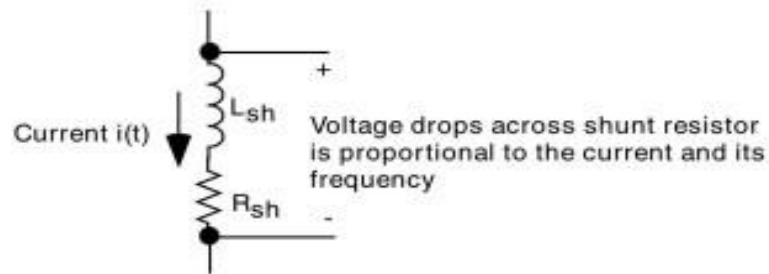


Fig.1 Modelo simple de Shunt con inductancia parásita.

La resistencia del shunt, que ha de estar calibrada, tiene un valor resistivo muy bajo. Por lo general, está provista de cuatro bornes como muestra la figura 13, dos para conectar el circuito y otros dos para conectar el mili voltímetro. Esto evita errores causados por la resistencia de contactos.

En general, los shunt que se utilizan con instrumentos portátiles o de laboratorio se prevén para una caída de tensión de 60 mV.

Para instrumentos de tablero se emplean los shunt con caídas normalizadas de: 30, 45, 60, 100, 120, 150 y 300 mV., y se clasifican, según su exactitud, en cinco clases: (0, 05 %), (0,1 %), (0,2 %), (0,5 %) y (1 %).



Fig.2 Resistencia Shunt sin cuerpo protector

7.1.2 Transformador de corriente. Transformador de Corriente (TC) usa el principio de un transformador para convertir la alta corriente del primario, a una corriente de secundario de menor valor. Es el sensor más común entre la gran cantidad de los actuales medidores de energía de estado sólido de alta corriente, porque consume muy poca energía y porque no necesita circuitos adicionales para su control.

Debido a la corriente de magnetización, tiene típicamente un pequeño desplazamiento de fase asociado, de $0,1^\circ$ a $0,3^\circ$. Si está des calibrado, dará lugar a un notable error con factores de potencia bajos. Además, el núcleo de ferrita puede saturarse con alta corriente. Una vez magnetizado, el núcleo presenta histéresis y la exactitud se degrada, a menos que se desmagnetice de nuevo.

La saturación de un transformador de corriente se puede presentar por ondas de corriente mayores que la nominal o por presencia de una sustancial componente DC en la corriente (por ejemplo, cuando se maneja una gran carga con rectificación de media onda). La solución actual para el problema de saturación es utilizar material de ferrita con muy alta permeabilidad.

7.1.3 Sensor de efecto Hall. El efecto Hall, descubierto por Edwin C. Hall en 1879, consiste en la caída de tensión a través de un conductor o semiconductor con corriente, bajo la influencia de un campo magnético externo perpendicular a la dirección de flujo de la corriente.

La mayoría de los sensores Hall modernos, se basan en semiconductores de (GaAs) o (InAs) porque dan tensiones Hall bastante grandes. Sobre un sustrato de tipo cerámico se hace crecer una capa, por ejemplo de semiconductor, a la que se le fijan unos

contactos metálicos. En el centro de esta capa se forma un área denominada área activa, de suerte que esta zona queda libre de efectos de bordes. Estas áreas son muy pequeñas, del orden de 0,13 mm de diámetro y 0,25 mm de espesor.

La señal obtenida del sensor Hall puede ser procesada para dar una señal digital (interruptores Hall) o analógica (con sensores Hall de tipo lineal), cuando se requiere que la salida sea proporcional a la señal que se desea medir. Estos últimos son los empleados para la medición de corrientes, cubriendo un rango que va desde pocos miliamperios hasta cientos de amperios, y se conectan como se muestra en la Figura 3(a). Para mejorar la sensibilidad se usa un núcleo de toroide, como en la Figura 3(b). Al colocar el sensor en el campo magnético producido por la corriente a medir, se medirá una tensión de salida proporcional al campo magnético.

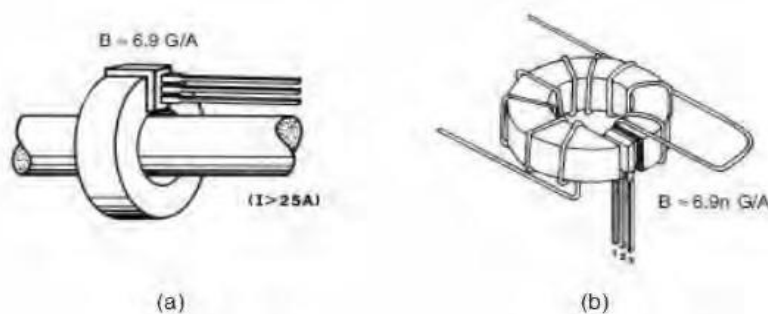


Fig.3 Sensor Hall y núcleo de toroide

En la Figura 3 se muestra la estructura simplificada de un sensor Hall de salida lineal. Debido a que la tensión Hall es muy pequeña (aproximadamente 30 $\mu\text{V/G}$), es necesario incluir una etapa de amplificación lineal. Posee además una compensación en temperatura y un regulador de tensión. La salida posee un transistor en emisor abierto para realizar la interfaz con cualquier dispositivo.

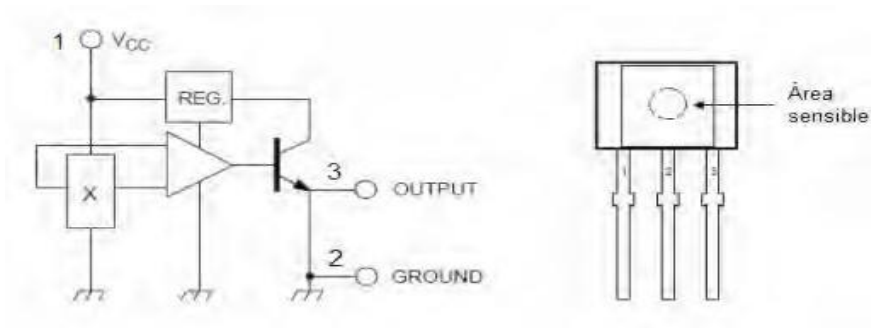


Fig.4 Sensor de efecto Hall con salida lineal.

El sensor de efecto Hall tiene extraordinaria respuesta en frecuencia y es capaz de medir corrientes muy grandes, pero el inconveniente es que la salida presenta una gran deriva térmica por lo que generalmente requiere de una estable fuente de corriente externa. Son algo menos comunes que los transformadores de corriente.

7.1.4 Bobina Rogowski. La bobina de Rogowski es una bobina uniformemente arrollada en un núcleo de material no magnético de sección transversal constante, distribuido en forma de lazo cerrado. La forma más simple es la de un toroide circular cerrado y rígido, o abierto y flexible para que pueda cerrarse sobre sí mismo y facilitar de esta forma su montaje alrededor de un conductor por el que circula la corriente a medir.

La idea del transformador Rogowski es aplicar la Ley de Ampere, que establece que la corriente que circula por un conductor es proporcional a la integral de circulación de la intensidad de campo magnético alrededor de un camino cerrado que rodea a dicho conductor.

$$I = \int H \cdot dl$$

Ecuación 1

La idea anterior puede expresarse también diciendo que la bobina Rogowski, se usa para medir los cambios del campo magnético que se produce alrededor de un hilo portador de corriente y producir una señal de tensión proporcional a la derivada de la

corriente (di/dt), por lo que se necesita un integrador que convierta apropiadamente la señal. En la figura 5 se presenta un esquema simplificado de la bobina con su integrador.

La fuerza electromotriz (fem.) inducida en la bobina con núcleo de aire, está dada por la ecuación:

$$fem = M. (di/dt)$$

Ecuación 2

Donde el término constante M es la inductancia mutua de la bobina Rogowski, expresada en Henrios (H).

La tensión de salida de la bobina depende solamente de los cambios en la corriente primaria. Al ser la salida de la bobina proporcional a la derivada de la corriente respecto al tiempo, es necesario usar un integrador para convertirla al formato $i(t)$.

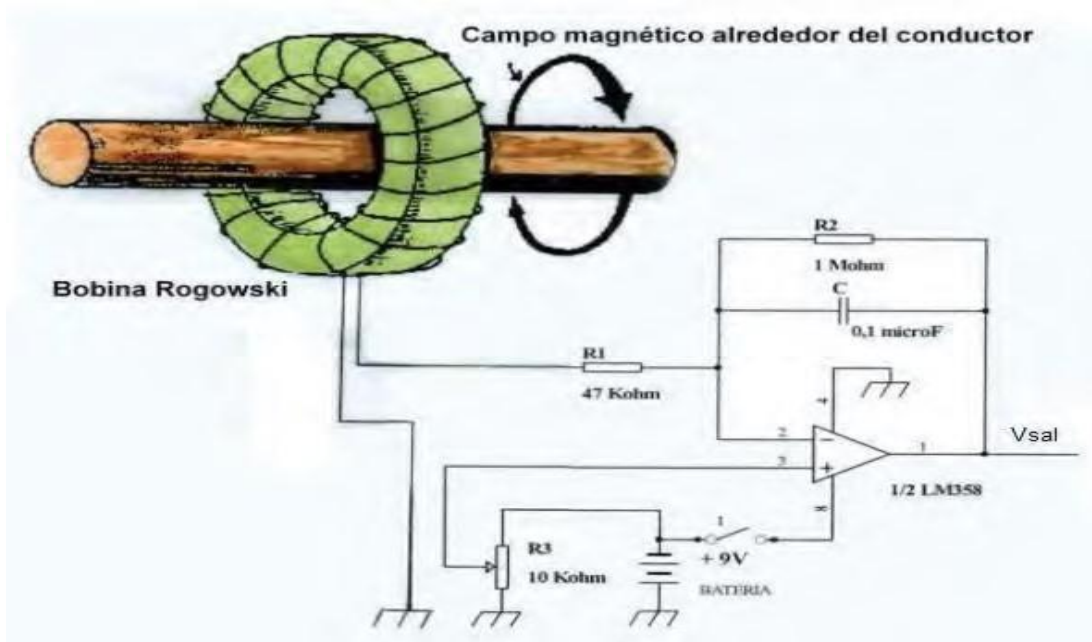


Fig.5 Bobina Rogowsky con su circuito acondicionador.

La bobina Rogowski permite separación galvánica entre la tierra de medición y la tierra del sistema de potencia, siendo esta una ventaja respecto a la resistencia shunt.

Por tener núcleo de aire, la bobina Rogowski no presenta histéresis, saturación o problemas de no linealidad. Además tiene una elevada capacidad para manejar altas corrientes, siendo el límite superior teórico, la tensión de ruptura del aire.

La tensión de salida del integrador (V_{sal}) está dada por la expresión:

$$V_{sal} = M \cdot I / T_i$$

Ecuación 3

Siendo:

M = Inductancia mutua entre el conductor y la bobina.

I = La corriente que se quiere medir.

T_i = La constante de tiempo del integrador.

La expresión anterior se puede expresar en la forma siguiente:

$$V_{sal} = S \cdot I$$

Ecuación 4

Siendo S la sensibilidad del transductor Rogowski, expresada en mV./A.

La sensibilidad es el factor de proporcionalidad entre la señal de medida obtenida y la corriente a medir. Depende de la inductancia mutua de la bobina, pero también del método de integración que se emplee. Como la bobina se comporta como un integrador a frecuencias elevadas, esto supone que para la medida de corrientes de alta frecuencia no es necesario un circuito integrador si se utiliza una impedancia de terminación suficientemente pequeña.

En el Cuadro 1 se encuentra una comparación entre los diferentes tipos de sensores de corriente mostrando cada una de sus ventajas y desventajas, el cual fue usado para seleccionar el transductor adecuado para este proyecto.

Cuadro 1. Comparación de tecnologías para censado de corriente.¹

TIPO DE SENSOR DE CORRIENTE	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Resistivo Shunt	Bajo costo y buena linealidad en medición.	Ante altas corrientes pobre respuesta, offset dc e inductancias parasita, no ofrece aislamiento entre las etapas de alta tensión y baja tensión.
Transformador de corriente	Buena respuesta ante altas corrientes, bajo consumo de potencia. Aislamiento entre etapa de potencia y etapa de control.	Histéresis, saturación dc a altas corrientes, cambio de fase de la variable sensada por efectos de la inductancia, susceptibles a campos magnéticos externos.
Sensor de Efecto Hall	Buen desempeño ante altas corrientes, amplio rango dinámico.	Histéresis, saturación, alto costo y vulnerable a cambios de temperatura.
Bobina de Rogowski	bajo costo, no tiene límite de saturación, bajo consumo de potencia, inmune a Offset dc, amplio rango dinámico.	La salida es una derivada del voltaje de entrada, por lo que es necesario un integrador análogo o digital. Sensible a interferencias electromagnéticas (EMI).

7.1.5 Selección del sensor de corriente. El sensor de corriente seleccionado fue del tipo transformador de corriente CSE187L, por las siguientes razones:

- Está diseñado para medir corrientes alternas entre 50 y 60 Hz.
- Rango de funcionamiento entre 0,5 y 20 Amperes.
- Sensibilidad configurable de 0,1 V/A.
- La sensibilidad puede ser modificada a través de la resistencia R_T ubicada a la salida del sensor.

Su funcionamiento se rige por la siguiente función de transferencia:

$$\frac{V_{OUT}}{I_{IN}} = 0.1 * \left(\frac{R_T}{68}\right)$$

Ecuación 5

Donde la resistencia R_T es la impedancia que se conecta a la salida del sensor, como se muestra en el esquema de la Figura 6.

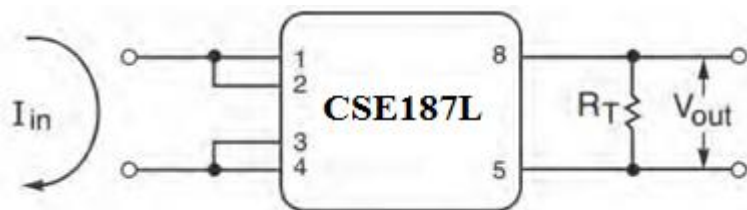


Fig.6 Esquema de conexión del sensor de corriente CSE187L

Es importante que se tenga en cuenta las restricciones de tensión de entrada que posee el circuito integrado al cual se va a conectar este sensor, para que el valor de R_T limite la amplitud de la señal de salida y exista un buen acople con el resto del sistema.

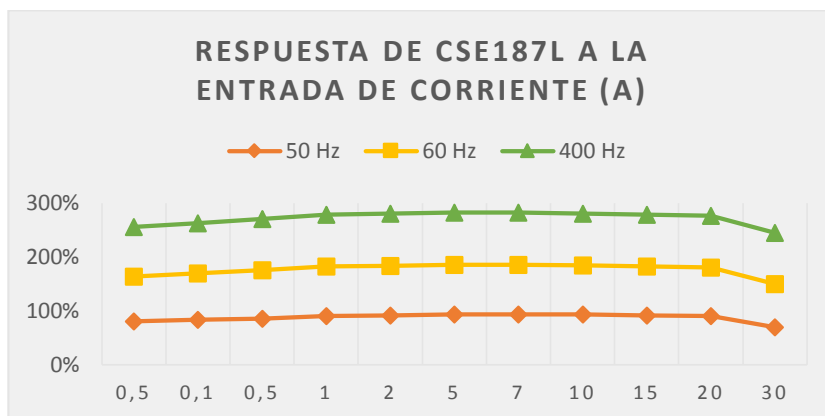


Fig.7 Respuesta del sensor CSE187L

7.2. Arquitectura de Android

Para desarrollar la aplicación con bases de datos, gráficos más apropiados a la necesidad del usuario debemos conocer más de su arquitectura. La siguiente figura muestra los diferentes niveles que se pueden encontrar en la arquitectura del Android [5].

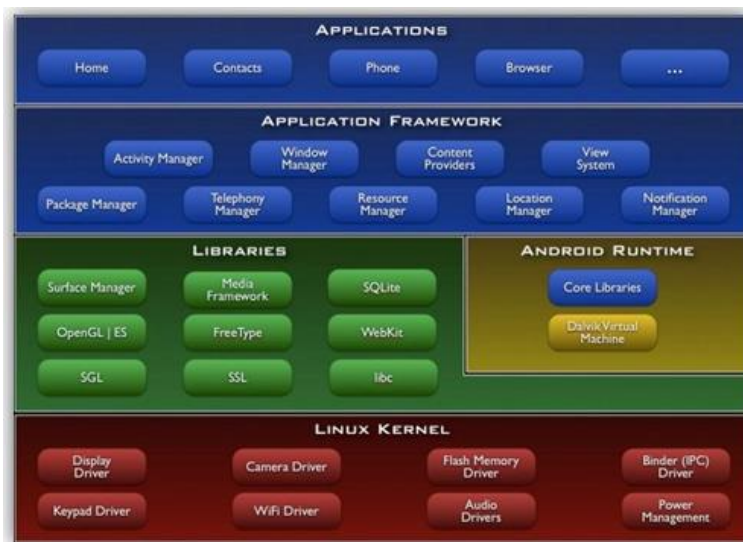


Fig.8. Estructura ANDROID.

Imagen tomada del libro Curso de Programación Android V2, pág.35.

7.2.1. Nivel de aplicaciones

Se corresponde al nivel de las aplicaciones base de la plataforma. Éstas incluyen un cliente de correo electrónico, un programa para mandar y gestionar SMS, un calendario, mapas y navegador web y una aplicación de gestión de contactos entre otras. Todas las aplicaciones de este nivel están programadas mediante el lenguaje de programación Java utilizando el SDK proporcionado por Android [5].

7.2.2. Marco de trabajo de aplicaciones

Con el fin de facilitar la tarea a los desarrolladores, Android ofrece un framework mediante el cual permite acceder y utilizar cualquier dispositivo presente en el teléfono móvil para poder desarrollar aplicaciones. De esta manera se pueden acceder a los servicios de los distintos componentes y reutilizar sus funcionalidades [5].

7.2.3. Librerías de Android

Android dispone de un conjunto de librerías muy extenso. Por un lado se encuentra un grupo de librerías base, escritas en Java, disponible en el paquete del SDK ofreciendo funcionalidades que serán utilizadas por las aplicaciones en su tiempo de ejecución.

A parte de las mencionadas, también se pueden encontrar otro conjunto de bibliotecas escritas en C/C++ que son usadas por los componentes del sistema y que mediante el marco de trabajo pueden ser utilizadas por las aplicaciones. Algunas de ellas son System C Library, bibliotecas de medios, bibliotecas gráficos y bibliotecas de SQLite [5].

7.2.4. Run time de Android

En este nivel se encuentra la máquina virtual Dalvik. Esta máquina virtual se caracteriza por tener una arquitectura basada en registros a diferencia de otras máquinas virtuales que poseen

una arquitectura basada en pila. De esta manera cada aplicación de Android ejecuta su propio proceso con una instancia de la máquina virtual. Está diseñada para ocupar poco espacio de memoria y no requerir una velocidad alta de procesamiento [5].

Otra diferencia es que las clases que componen una aplicación son convertidas, utilizando una herramienta incluida en el SDK denominada dx. Así mismo, desde la versión 2.2 de Android, esta máquina virtual incluye un compilador JIT (Just in Time) aumentando el rendimiento de forma notable en las aplicaciones [5].

7.2.5. Kernel de Linux

Android está basado en el Kernel de Linux 2.6 actuando como una capa de abstracción entre el hardware y el resto de capas de la arquitectura. Las funciones más significativas que cumple son de seguridad, gestión de memoria y procesos, protocolo de red y gestión de drivers del sistema. De lo anterior nos enfocamos a partir del analizador de red a guardar toda la información en una base de datos de esta manera debido a los requisitos obtenidos durante la fase de análisis del analizador, es necesario el uso de un sistema de almacenamiento para poder manejar toda la información con la que la aplicación va a trabajar. A pesar de que únicamente se almacenará texto, se deberán guardar los datos correspondientes a los correos, eventos y notas entre otros, haciendo que la aplicación vaya consumiendo más espacio con el paso del tiempo. Otra característica muy importante de la información almacenada es que debe ser fácilmente accesible para poder trabajar con ella, por lo que se ha optado por el uso de una base de datos [5].

Para ello se ha decidido utilizar las funcionalidades que ofrecen Android y SQLite que permite acceder a los datos mediante consultas de manera rápida y sencilla. Esta base de datos debe contener las siguientes tablas con sus correspondientes atributos:

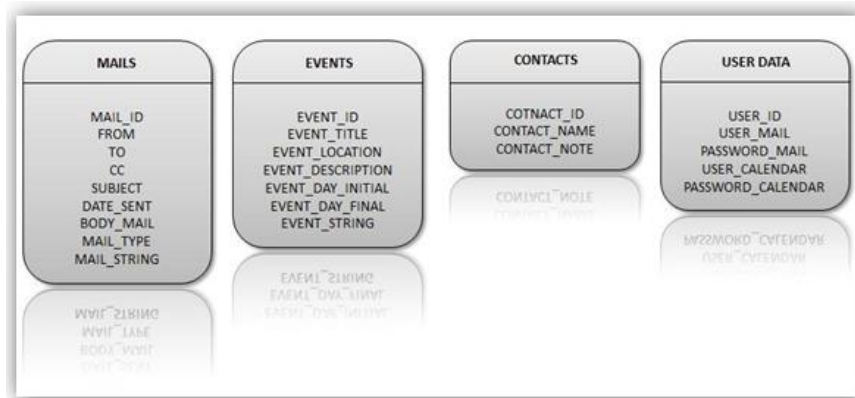


Fig.9 Estructura SQL ANDROID

Imagen tomada del libro Curso de Programación Android V2, pág.48.

por ultimo se desarrolla la aplicación establecida para graficar y monitorear de forma remota la informacion del consumo con base a las variables de ya descritas anteriormente [5].

7.3. NORMATIVIDAD:

El reglamento y normatividad, son de vital importancia para optimizar aspectos como costos y maduración de sistemas que cumplan las mínimas verificaciones en sus normas respecto al área que se desempeñe. Detallando en si estándares de seguridad requeridos para protección del ser humano y eficiencia en múltiples campos. Pero en síntesis la normatividad propuesta a continuación se basa en normas colombianas como el RETIE, que explican brevemente acerca de las normas mínimas en cuanto a las instalaciones eléctricas. Además normas de calidad energética propuesta por la IEEE que hacen de un mejor desempeño en los sistemas diseñados.

7.3.1. RETIE:

El conjunto de normas establecido en Colombia en cuanto a sistemas eléctricos se refiere, es el RETIE (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas), el cual fue establecido por el Ministerio de Minas y Energía, con el objeto fundamental de “establecer medidas que garanticen la seguridad de las personas, de la vida animal y vegetal y de la preservación del medio ambiente; previniendo, minimizando o eliminando los riesgos de origen eléctrico”.

Esta normatividad, esta aplicada a toda instalación eléctrica nueva, de ampliación, de remodelación y/o para realizar la evaluación y revisión de sistemas eléctricos y todas estas deben demostrar el cumplimiento de la norma a través de un certificado expedido por una organización acreditada por la SIC [2][3].

7.3.2. NTC 2050:

Dentro del RETIE, se encuentra la norma NTC 2050, Código Eléctrico Colombiano, que estipula la simbología, códigos, materiales, equipos y todas las herramientas necesarias para la instalación de sistemas eléctricos y la señalización de seguridad y prevención. Esta norma se rige bajo el Ministerio de Minas y Energías, pero cualquier modificación y/o actualización, debe ser remitida al ICONTEC para su respectiva aprobación.

Las temáticas de interés dentro de esta norma, se constituyen en los tres primeros capítulos que tratan de los requisitos de una instalación eléctrica, alambrado y protección, y métodos y materiales, respectivamente.

El primer capítulo, establece el examen de todos los equipos y dispositivos, teniendo en cuenta que son aprobados y que cumplen las condiciones exigidas por esta norma, algunos de los elementos de estudio dentro de las características circuitales son: tensiones, conductores, calibres de los conductores, condición de aislamiento, métodos de alambrado, capacidad de interrupción nominal, impedancia del circuito, entre otras; y dentro de características externas se evalúan los agentes deteriorantes, ejecución de los trabajos, montaje y ventilación, conexiones eléctricas, espacios, protección, medios de desconexión.(RETIE, Resolución 180466 de 2007, Artículo 1o,Artículo 2o, Artículo 3o).

El segundo capítulo, alambrado y protección de las instalaciones eléctricas, establece la identificación de los terminales, conexión de los conductores puestos a tierra, tomacorrientes y conectores, interruptores, autotransformadores, capacidad nominal de circuitos, salidas de distintos equipos, alimentadores, acometida, alumbrado; todo esto incluyendo sus codificaciones, colores y todo lo establecido por esta norma. (RETIE, Resolución 180466 de 2007, Artículo 8o, Artículo 9o, Artículo 10, Artículo 11).

El tercer capítulo, estipula los métodos y materiales usados en las instalaciones, los tipos de cable que se deben implementar dependiendo de su uso y de los voltajes y potencias que

circulen por estos sistemas, la protección del personal, los equipos y circuitos, y a partir de tablas conocer todos los requerimientos de los dispositivos implementados en un sistema eléctrico. (RETIE, Resolución 180466 de 2007, Artículo 18, Artículo 20).

Es importante tener en cuenta, que al momento de realizar el estudio de un sistema eléctrico, se debe registrar si la empresa cumple o no con los requisitos que solicita la norma, ya que está es creada con el fin de contribuir a la sociedad, a la empresa y al medio ambiente [2][3].

7.3.3. Normas IEEE:

A nivel internacional, también existen normas que exigen ciertas condiciones en las instalaciones eléctricas para su aprobación y funcionamiento, y que además se emplean como un lenguaje en todo el mundo, de esta manera presentan un punto de vista único en cuanto a los sistemas eléctricos. Para realizar el estudio de las instalaciones, se tienen en cuenta específicamente las siguientes normas:

7.3.4. IEEE 1159:

Esta norma determina las características de calidad de la energía, tales como definiciones, impacto ambiental, monitoreo, clientes y medición de los fenómenos electromagnéticos, dentro de redes monofásicas y polifásicas de alimentación AC [2][3].

7.4. ARQUITECTURA MICROCONTROLADOR LPC 23XX

La mayoría de sistemas de procesamiento de datos se basan principalmente en sus comunicaciones que hacen de forma ágil y eficiente la adquisición y procesamiento de los datos; es decir que al hacer poli funcional un sistema y embebido exige tecnología eficiente y de bajo costo, además que debe cumplir normas ya descritas en capítulos anteriores,; en este orden de ideas los microcontroladores se ajustan a estas especificaciones haciendo referencia a un diseño de fácil mantenimiento y a topologías de comunicaciones de fácil acceso, en caso específico se referirá a la familia de microcontroladores LPC23XX.

La familia de microcontroladores LPC23XX están basados en tecnología ARM, que se están diseñados para diferentes tipos de comunicación serial. De las cuales se destacan:

- Estos microcontroladores típicamente incorporan un 10/100 MAC Ethernet, que en particular caso de este proyecto no aplica.
- Soporta comunicación USB 2.0 del cual tiene un protocolo configurable.
- Soporta cuatro líneas de comunicación serial UART, del cual si se requiere comunicar en niveles RS232 se hace necesario un conversor, como por ejemplo un MAX232.
- Posee compatibilidad para puertos CAN con su protocolo correspondiente configurable.
- Una interface Serial SPI (Serial Protocol Interface), comunicación que es síncrona.
- Dos puertos seriales SSP (Synchronous Serial Ports), tipología que es similar a la SPI, peor que soporta más tipos de comunicación síncrona como 2-wire 3-wire ó 4-wire.
- Posee tres puertos de comunicación I2C.
- Posee una interfaz I2S, útil para empaquetamiento de audio, que en caso particular de nuestro proyecto no va ser útil.
- Y por último un puerto paralelo de 8 bits.

7.4.1. Generalidades del Microcontrolador:

Este microcontrolador se describe básicamente en:

- Tiene un procesador ARM7TDMI-S, cuya velocidad es de 72Mhz.

- La familia de estos microcontroladores posee un rango de Memoria Flash Programable a partir de 128KB hasta 512KB, que en caso particular será de 128KB, cabe destacar que tiene dos modos de programación ya sea ISP (In-System-Programming) o IAP(In- Aplication-Programming).
- Esta familia de microcontroladores posee una SRAM en un rango de 8 a 64 KB para acceso rápido a la CPU ARM. Tiene un campo de 16 KB de RAM estática para atender de forma particular la comunicación Ethernet, pero de no usarse se puede tomar de uso libre, de la misma manera que la comunicación USB pero con 8KB de capacidad de uso, y por ultimo posee 2KB de RAM protegida, la cual está conectada a un bus alimentada por batería. A continuación en la figura se hace una breve ilustración del microcontrolador:

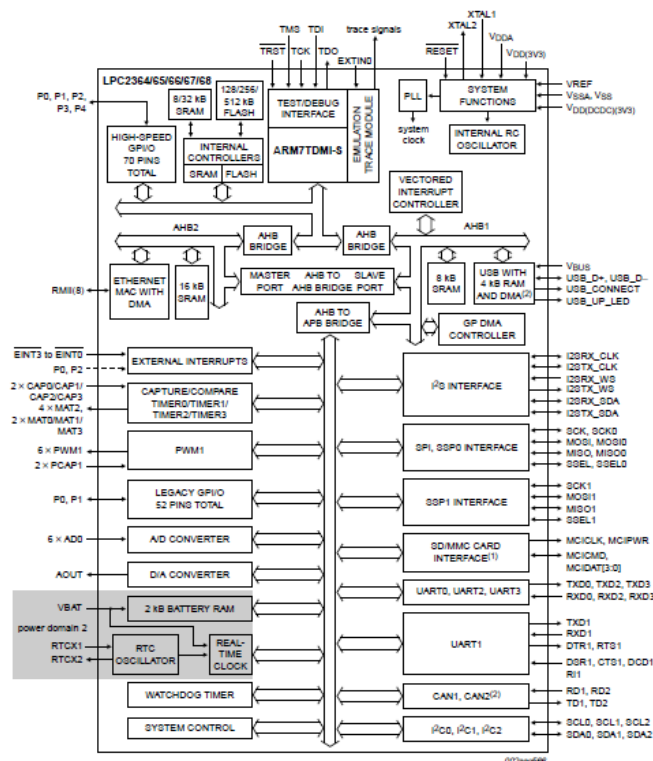


Fig.10 Arquitectura LPC2364. Imagen Tomada del manual de usuario de la familia LPC23XX (UM10211).pdf, NXP semiconductors, pág.12.

8. DISEÑO METODOLÓGICO

La descripción básica del orden metodológico de este proyecto es básicamente diseñar e implementar un sistema de adquisición de datos del consumo de energía eléctrica, el cual se verá complementada en el siguiente orden:

8.1. Metodología de investigación y estado del arte:

Se establece un orden metodológico en la consulta de manuales respecto a la construcción de hardware, normatividad y estado del arte de modelos asociados al proyecto de grado.

8.1.1. Documentación:

Se realiza una búsqueda del estado del arte del tema de sostenibilidad energética y supervisión de energía en diferentes bases de datos como lo es la IEEE.

Por último se realizará una consulta en las bibliotecas universitarias sobre proyectos de grado realizados en la misma temática.

8.1.2. Recolección de datos bibliográficos:

Con base a la documentación, se realizaran pruebas en pequeñas escalas en un recinto cerrado para enfocar el gasto de energía en un periodo de tiempo y relacionándolos con las temáticas documentadas.

8.2. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS:

La adquisición de datos de energía eléctrica comprende básicamente de la implementación de transductores que convierten señales de corriente en voltaje para su previo tratamiento con el sensor seleccionado, además de caracterización de los elementos que intervienen en el sistema de adquisición incluyendo comunicaciones; describiendo de tal manera algunos procesos como:

- Técnica de recolección de datos.
- Pruebas de Caracterización particulares y de conjunto

8.2.1. Técnica de recolección de datos

Se refiere a la de adquisición de datos implementada con un sensor de energía eléctrica ADE7763 en conjunto del transductor de corriente CSE187L que en seguida convertirá dichos datos en señales digitales para su posterior procesamiento.

8.2.1.1. Procedimiento de caracterización del sensor CSE187L:

Este transductor se caracteriza por ser un transformador de corriente a voltaje cuya corriente operación ya se ha especificado es de 1 a 30 amperios, con un bajo factor de potencia que al sistema no introduce armónicos ni desfase de corriente, en consecuencia este transductor es ideal para la aplicación que requiere el sensor ADE7763. En la fig.1 se ilustra el modo de conexión del transductor ya mencionado.

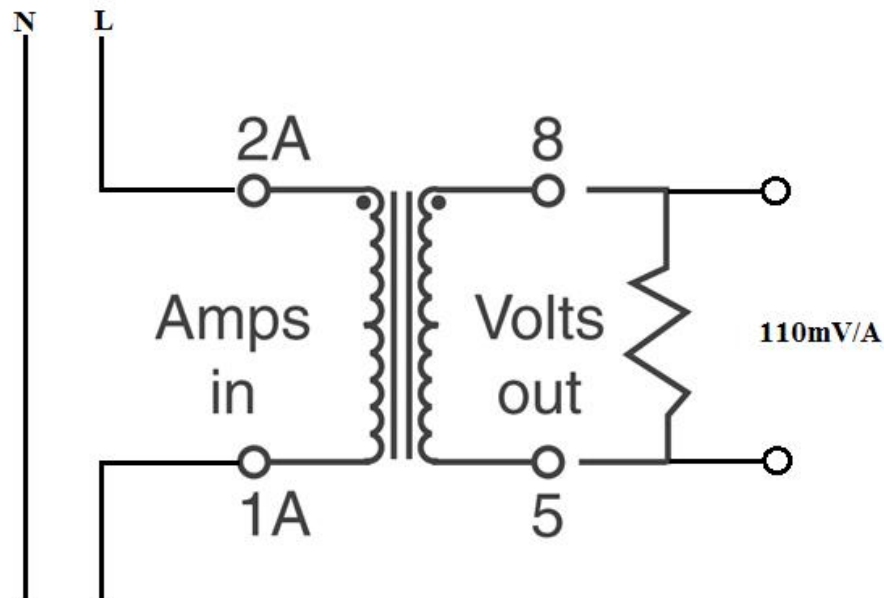


Fig.11 Esquema de conexión del transductor CSE187L.

A partir del esquema de conexión ilustrado en la Fig.1 se ponen cargas de tipo resistivo y en conjunto de un amperímetro se puede caracterizar la zona lineal que mejor se comporta dicho transductor, el procedimiento se repite respectivamente con una carga capacitiva y una inductiva y así caracterizar la linealidad del sistema en común, en la Fig.12 se ilustra el diagrama de caracterización del transductor CSE187L.

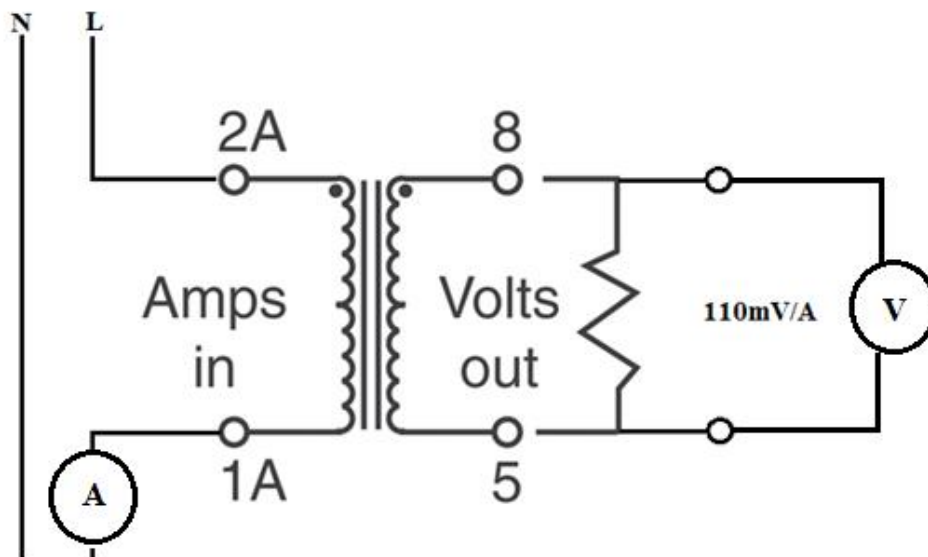


Fig.12 Esquema de para caracterización del transductor CSE187L.

Cabe resaltar que este transductor se debe acondicionar para su posterior aplicación en el sensor ADE7763, ya que en posteriores acápite se mostrará que el rango de entrada del sensor es de máximo 500mV, y en relación a la salida del sensor que puede estimarse en el orden de 3.3V máximo, obligando a que la salida del transductor de corriente CSE187L deba ser atenuada. Para dicha atenuación de señal se hizo la implementación con un amplificador diferencial y así asegurando que con una relación aproximadamente de 6:1, la señal de salida sea eficiente para el sensor ADE7763, a continuación se muestra el esquema diseñado para el acondicionamiento de señal tal como se muestra en la Fig.13.

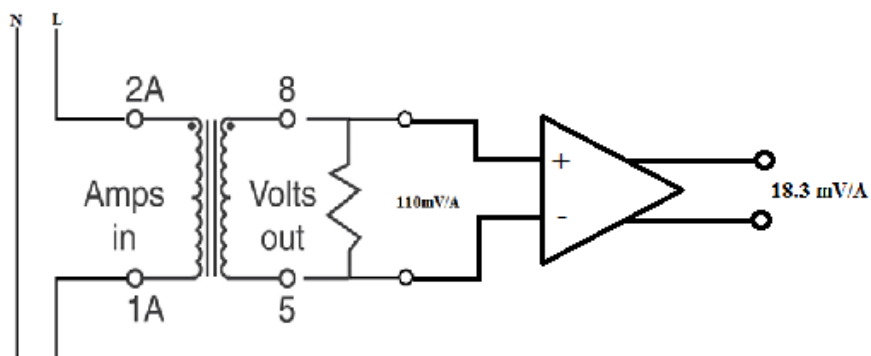


Fig.13 Esquema de diseño para acondicionamiento de señal del transductor CSE187L.

Dado lo anterior se puede caracterizar los datos de corriente para el sensor ADE7763 que se describirá a continuación.

8.2.1.2. Caracterización del Sensor ADE7763

El ADE7763 cuenta con ADC's de 12 bits de resolución y una función DSP fija de alta precisión. El ADE7763 está equipado con dos filtros digitales de segundo orden, un integrador digital (en CH1), circuitos de referencia, un sensor de temperatura, y todo el procesamiento de señal requerido para realizar mediciones de energía activa y aparente, además de poder calcular valores de tensión RMS y corriente RMS con sus respectivos canales. El chip proporciona la ventaja de seleccionar un integrador digital el cual da la ventaja de utilizar transductores tipo di / dt sensores de corriente, tales como Bobinas de Rogowski, deshaciendo la implementación de un integrador externo con una gran estabilidad entre los canales que evita un desfase entre voltaje y corriente. El ADE7763 proporciona una interfaz de serie (SPI) para leer datos como energía activa, energía reactiva, datos básicos de corriente y voltaje, etc..., tiene varias características de calibración del sistema, tales como canal corrección, calibración de fase y calibración de potencia de desplazamiento para asegurar una alta precisión. A continuación en la Fig.14 se muestra un diagrama de bloques del sensor ADE7763.

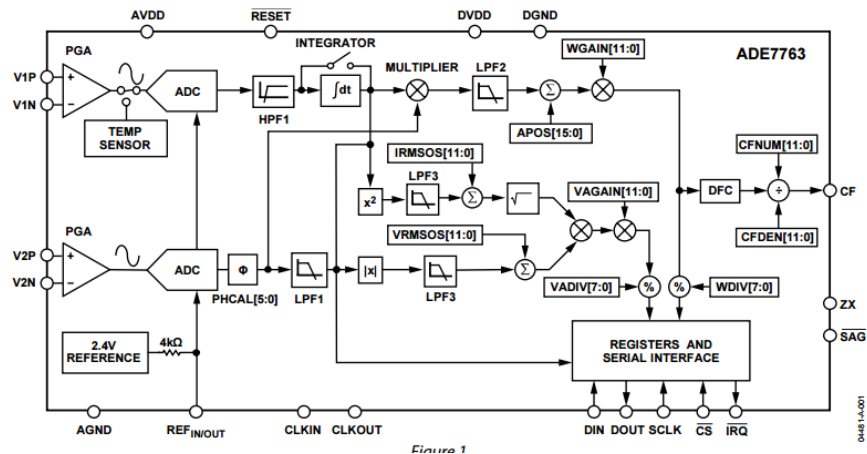


Fig.14 Diagrama de bloques interno del sensor ADE7763.

Básicamente el sensor el canal 1 por su configuración recibe el canal de corriente ya que por el integrador hace más exacta la medición de corriente y la implementación de cualquier tipo de sensor de corriente como ya se había referenciado, el canal 2 por defecto recibe la señal de voltaje, los dos canales por su configuración manejan un rango específico de ± 0.5 V, por lo que se hace necesario hacer un divisor de tensión para el canal 2; en la Fig.15 se muestra el esquema de conexión para su caracterización.

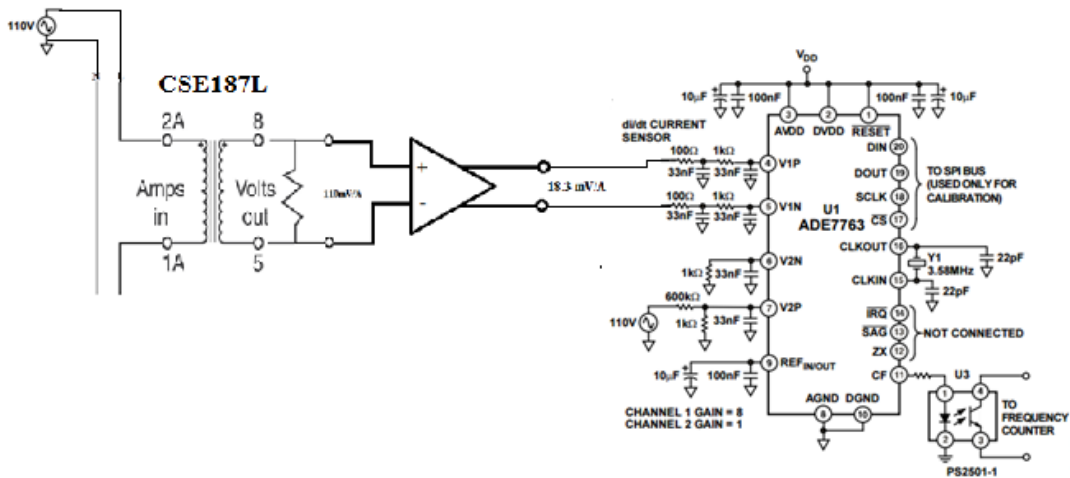
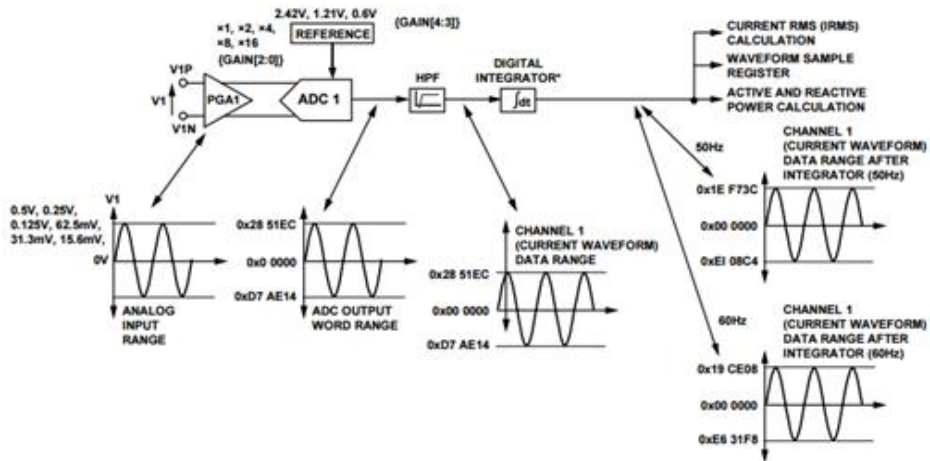


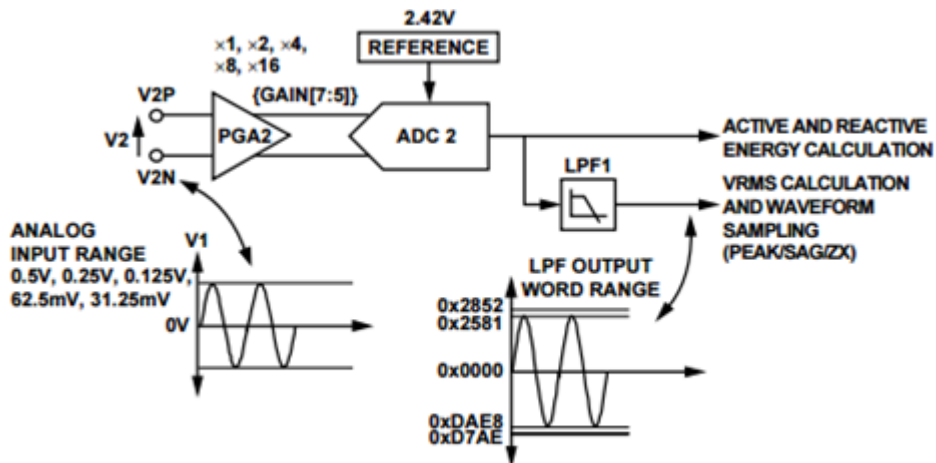
Fig.15 Esquema de conexión del sensor ADE7763 en conjunto del CSE187L.

El sensor posee un modo de calibración el cual se debe hacer por comunicación SPI, por lo que se vio obligado utilizar un microcontrolador que tuviese este tipo de comunicación, el cual fue el LPC2364 que será explicado en acápite posteriores, con esto se desarrolló un software piloto para la calibración y de los canales de voltaje y corriente, así deduciendo la ecuación lineal a partir de los valores del registro para describir las magnitudes correctas de voltaje RMS, corriente RMS, potencia activa, potencia reactiva, etc..... .

A continuación en la Fig.16 se muestra el funcionamiento de cada canal con su respectivo orden de procesamiento de señal, al final del proceso cabe resaltar que el ADC respectivo de cada canal produce un rango de valor máximo entre 0x2851EC (+2642412d) y 0xD7AE14 (-2642412d), de tal modo como se especificó anteriormente se debe caracterizar muy bien la zona lineal del transductor CSE187L con las diferentes cargas definidas para poder definir la ecuación lineal del sensor ADE7763 de forma correcta.



(A)



(B)

Fig.16 (A) Tratamiento de señal en el canal 1, (B) Tratamiento de señal en el canal 2

Las entradas de cada canal son de tipo diferenciales y de ganancia ajustable de tal manera que se debe tener en cuenta el valor de referencia en la entrada del ADC, que puede variar en un rango de 0.5V a 0.125V, tal como se muestra en la Fig.17.

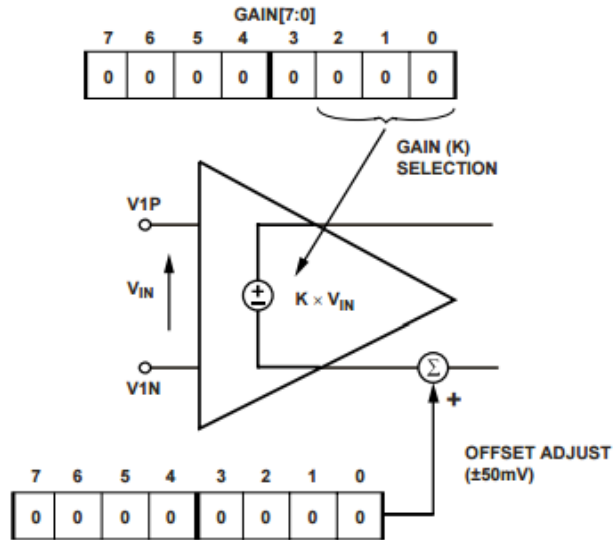


Fig.17 Entradas análogas del sensor ADE7763.

Dado todas las características anteriores y con ayuda del software desarrollado en el hardware del microcontrolador LPC2364, se pueden consultar el valor del registro del sensor caracterizándolo con los diferentes tipos de carga propuesto inicialmente y así modelar la ecuación lineal del rango de carga.

8.3. Diseño e implementación del sistema de procesamiento y almacenamiento de datos.

El procesamiento de datos y construcción del protocolo de comunicación que se implementará con un microcontrolador NXP LPC2364, en conjunto de un módulo WiFi que se conectará con un servidor dedicado al almacenamiento de los datos de energía eléctrica.

8.3.1. Procesamiento de la información

Diseño que se enfocará en el desarrollo de software para el microcontrolador LPC2364 de la fábrica NXP, que tendrá comunicación periférica vía red, almacenando dicha información en un servidor desarrollado con LABVIEW, para su posterior consulta activa. Los protocolos de comunicación que se utilizan en dicho procesamiento son el SPI y UART.

8.3.1.1. Comunicación SPI (Serial Peripheral Interface)

Este tipo de comunicación solo sirve propiamente a distancias cortas, ya que maneja niveles de tensión discretos, por lo que hace necesario que los dispositivos estén cerca, en este caso el sensor ADE7763 y el microcontrolador LPC2364, pero en la implementación del microcontrolador en conjunto del sensor nos da una gran ventaja en cuanto a velocidad y por el hecho de ser una comunicación half dúplex.

El microcontrolador LPC2364 posee un puerto SPI dedicado, el cual solo se debe configurar en los registros del microcontrolador, evitando la construcción del protocolo de comunicación, además de pines configurables los cuales se configuran las cuatro líneas de transmisión básicas para la correcta comunicación, en la Fig.18 se ilustra dichas líneas de transmisión.

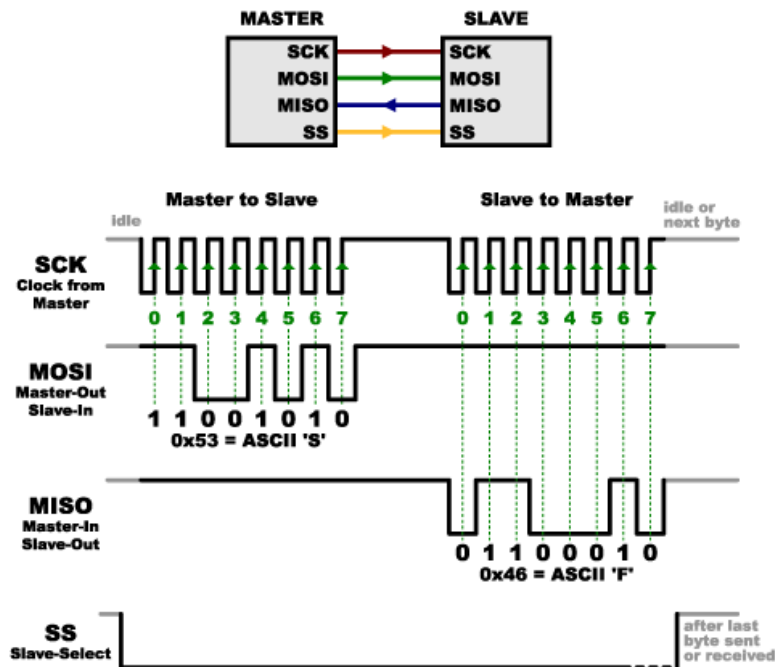


Fig.18 Líneas transmisión básicas de la comunicación SPI.

A partir de lo anterior la caracterización mencionada respecto al sensor ADE7763 se hace clara y puntual, en cuanto a los parámetros de operación tales como la frecuencia de reloj que debe ser de 3.3 MHz y lectura de datos en cada flanco de bajada del mismo.

Cabe resaltar que el microcontrolador posee dos puertos SSP que fácilmente pueden ser configurados como simples puertos SPI, de tal manera que para la aplicación propuesta de medición de energía se utiliza un puerto para la comunicación con una memoria flash de 16MB, que será la base de datos local en caso de fallo de comunicación con el servidor dedicado.

8.3.1.2. Comunicación UART

A diferencia de la comunicación SPI que es síncrona, este tipo de comunicación es asíncrona por lo que no necesita de pulsos de reloj para la transmisión de datos, por lo que es clave para un sistema de comunicaciones serie en el caso específico con el módulo WiFi, el cual se comunica al microcontrolador de forma serial a una velocidad de 230400bps. A continuación en la Fig.19 se ilustra el bloque UART del microcontrolador LPC2364.

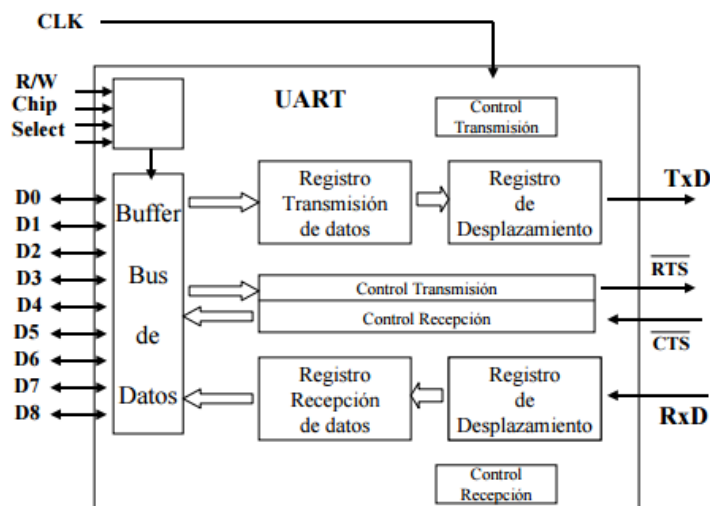


Fig.19 Bloque interno de comunicación UART LPC2364.

En base a esta comunicación se hace el diseño de una trama de comunicación síncrona y así no perder por algún motivo datos o sencillamente que colisionen.

El esquema de comunicación entre los dispositivos se ilustra en la Fig.20, donde se evidencia todo el procesamiento de datos.

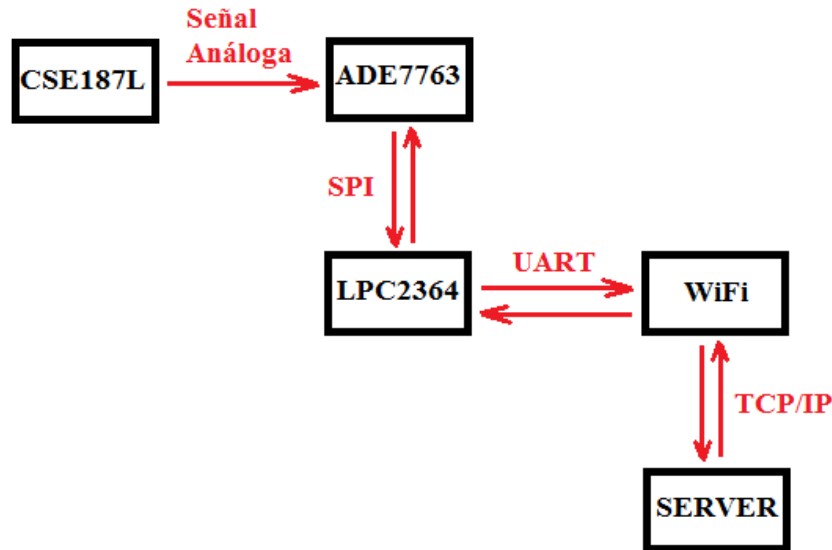


Fig.20 Diagrama de bloques del procesamiento de datos.

8.3.2. Instrumentos

Inicialmente se necesitaran de multímetros para medir variables como son voltaje y corriente básicamente, se hace indispensable la utilización de osciloscopio para sincronizar la comunicación SPI (Serial Protocol Interfaz) del sensor al microcontrolador; por ultimo para monitorear las comunicaciones RS232 y UART se hace la utilización de un analizador de comunicación serial.

8.3.3. Técnicas de análisis

Recolección de datos parciales, con sus respectivos análisis estadísticos y reportes de errores en puntos de control establecidos. Se escogerá un punto domiciliario para instalar el sistema de adquisición el cual con ayuda del servidor desarrollado en LABVIEW, los datos recolectados se guardan posteriormente en la base de datos de FireBird, y con una tarea diseñada en LABVIEW, se podrá ver el análisis de consumo de energía eléctrica. Cabe resaltar que el sistema diseñado para el microcontrolador promedia el consumo para dar una mayor precisión en la medida de energía eléctrica y actualizándola cada segundo.

8.3.4. Diseño de algoritmos

Se hace referencia en tres contextos en cuanto a construcción y diseño del sistema, refiriéndose a adquisición, procesamiento y visualización de información en cuestión:

- El primero de ellos por ser una implementación puramente hardware no hace un diseño simbólico para la adquisición de datos, aunque cabe aclarar que el sensor ADE7763 para la aplicación propuesta es programable y configurable externamente en tipología esclavo, el microcontrolador LPC2364 tiene una rutina desarrollada para calibrar mediciones de voltaje y corriente, en consecuencia la correcta configuración de los canales puede dar una precisa medida de potencia instantánea y por ultimo una confiable medición de energía. En la Fig.21 se muestra el diagrama de flujo general para la calibración de medición de energía en el sensor.

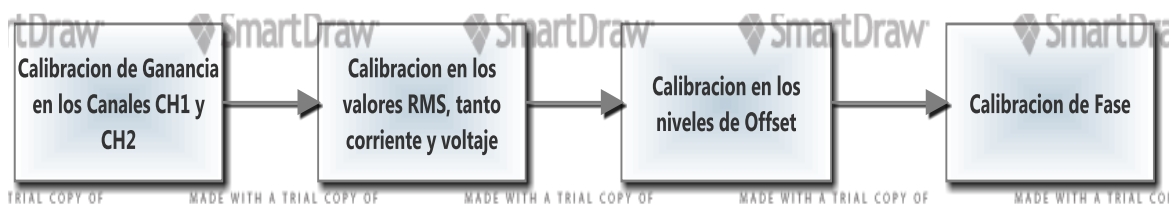


Fig.21 Calibración del sensor ADE7763 para medición de energía

Como se observa en el diagrama de flujo el primer paso es calibrar la ganancia de los canales de recepción del sensor el cual se calibra su ganancia por medio de algunos registros tal como se muestra en la Fig.22, ilustrando la configuración de dichos parámetros.



Fig.22 Diagrama de flujo de Calibración de ganancia.

El siguiente paso es calibrar los valores RMS de corriente y voltaje correspondientes para la medición tal como se ilustra en la Fig.23.

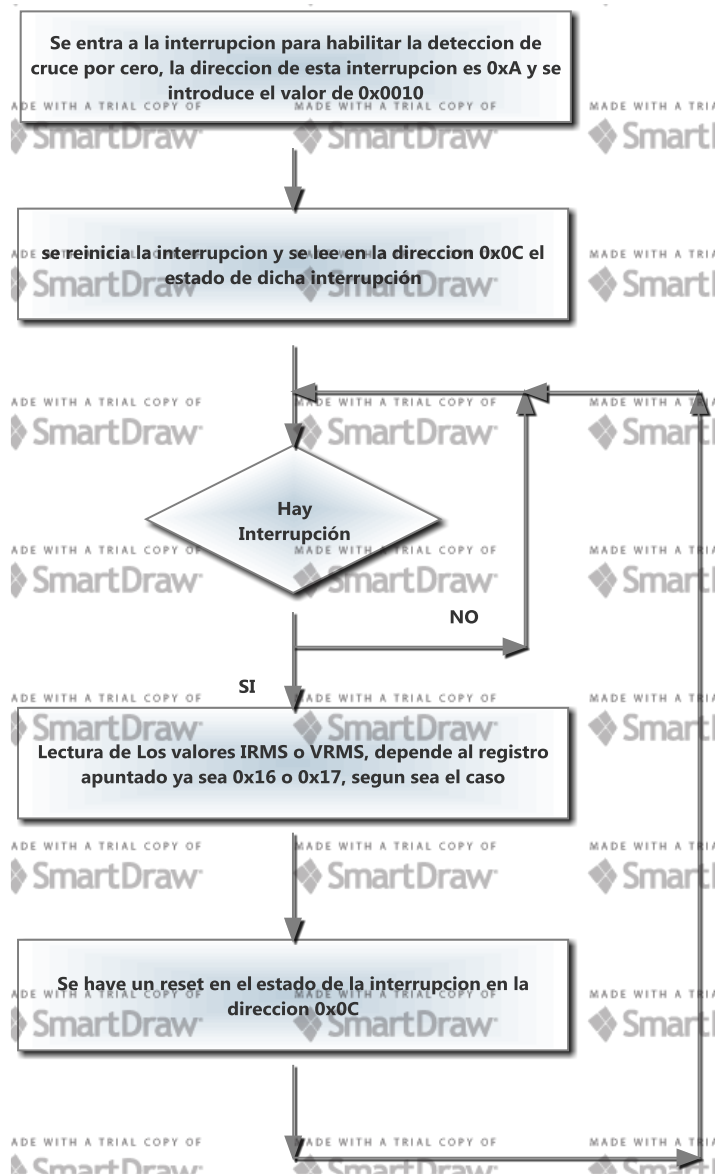


Fig.23 Calibración del sensor ADE7763 para lectura de los valores VRMS e IRMS.

La calibración de fase la ajusta cuando hay existencia de cargas inductivas o capacitivas, pero el error de ajuste de fase es mayor con cargas capacitivas, aproximadamente de un 4%. En este orden de ideas con esta secuencia de pasos la configuración del sensor será suficiente para la aplicación que se necesita, ya que existen más tipos de configuraciones para otro tipo de aplicaciones que no se referenciarán.

- El segundo hace referencia básicamente a diseñar algoritmos para comunicaciones, tales como TCP/IP, UART para comunicación de algunos periféricos, comunicación con RTC refiriéndose a hora y fecha actual, y construcción de algoritmo para configuración y sincronización con el sensor ADE7763, dicha comunicación hecha por SPI que ya se ha descrito anteriormente, en la Fig.24 se describe el diagrama de flujo con el que el sistema de procesamiento de datos, más específicamente el microcontrolador LPC2364 ejecuta tareas diseñadas para la aplicación de supervisión de energía eléctrica.

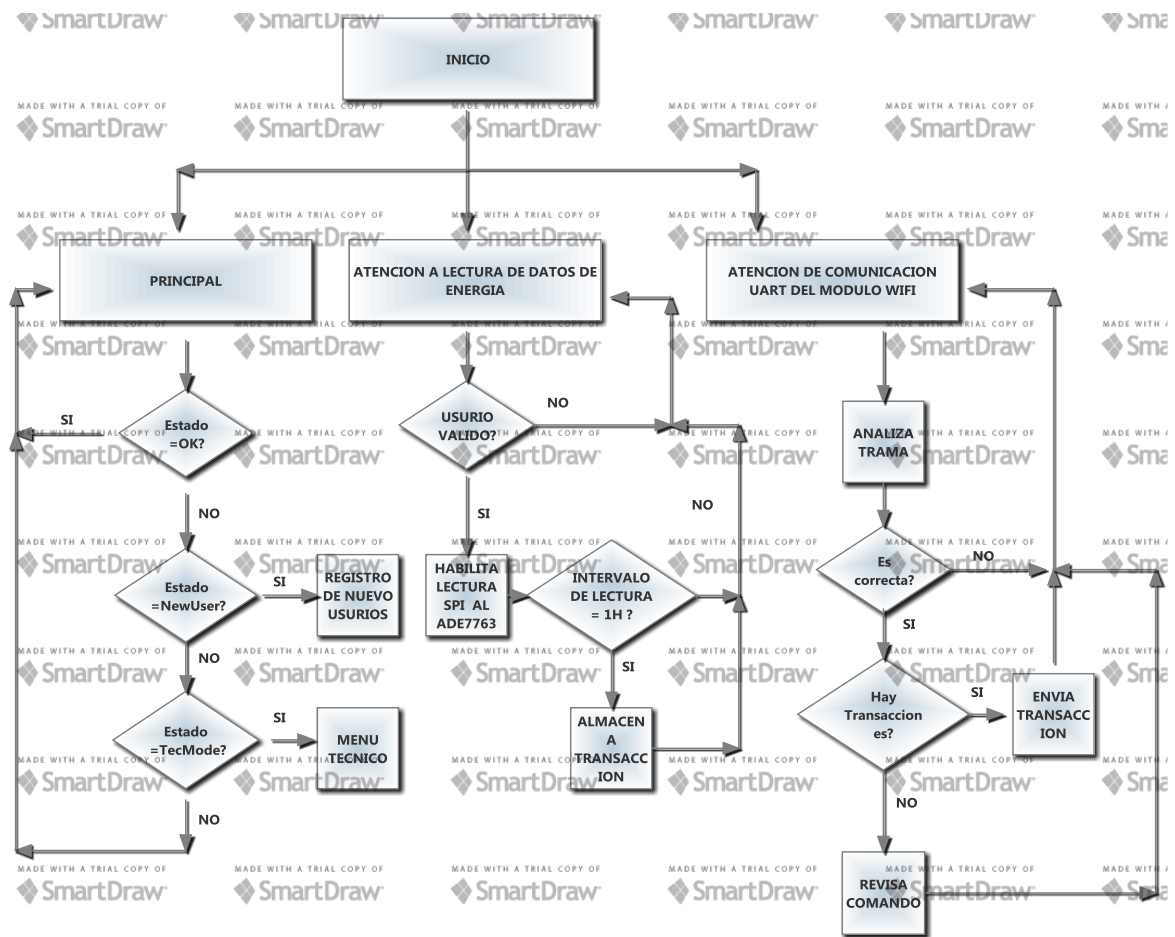


Fig.24 Diagrama de flujo del sistema de procesamiento diseñado con el microcontrolador LPC2364.

- Por último se hace énfasis en la construcción del algoritmo en la plataforma ANDROID, desarrollando así la interfaz. Que contiene además el diseño de la comunicación a un servidor que hará un oportuno almacenamiento de datos, y reporte a la aplicación para su posterior visualización. En la Fig.25 se ilustra la forma en que la aplicación consultará el servidor y se desplegará el consumo cuando se lo indique la aplicación desarrollada.

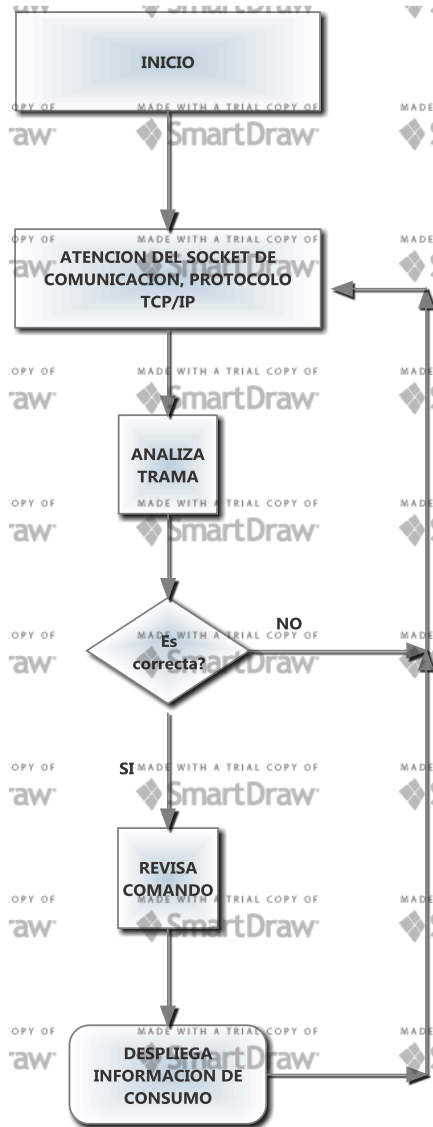


Fig.25 Rutina de ANDROID diseñada para responder al servidor LABVIEW.

8.4. Diseño de almacenamiento y visualización de la información:

En esta etapa del proyecto se realizará el orden y registro de los resultados obtenidos para su debido análisis y elaboración de las conclusiones finales de este trabajo de grado, es decir, la elaboración en cuanto al diseño del servidor y posterior visualización de reportes de consumo de energía eléctrica al usuario final en su respectiva aplicación desarrollada en ANDROID. Además de la calibración en la instrumentación de sensores realimentación de errores.

8.5. Informe final.

Se realizará la redacción de un informe final, el cual debe contener la información detallada del desarrollo de este trabajo de grado, incluyendo resultados y análisis del objetivo propuesto.

9. ADMINISTRACIÓN DEL PROYECTO

A continuación se describe una breve descripción de costos de producción inicialmente del proyecto de grado para su fase de implementación.

9.1. PRESUPUESTO

Tabla 1.

ITEM	CANTIDAD	COSTO
Circuito integrado ADE7763	4	\$100.000
Tablet con plataforma ANDROID	1	\$195.000
LPC 2364	1	\$27.000
Xpico WIFI SMT Lantronix	1	\$150.000
Display LCD 2x16 de 3.3V	1	\$15.000
Memoria Flash de 16 MB	1	\$25.000
	Total	\$512.000

10. EJECUCION DEL PROYECTO

El sensor ADE7763 es un dispositivo que contiene básicamente dos canales de adquisición análogo digital los cuales tienen un límite de voltaje de $\pm 0.5V$, por lo que se tuvo que diseñar un que diseñar un divisor de voltaje para la adquisición de la señal de voltaje AC:

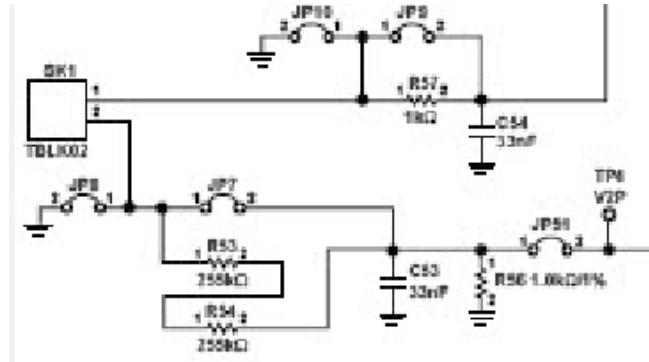


Fig.26 Circuito de divisor de tensión.

En el caso de la señal de corriente se necesita de un transductor en este caso un transformador de corriente a voltaje con salida máxima de 200mV :

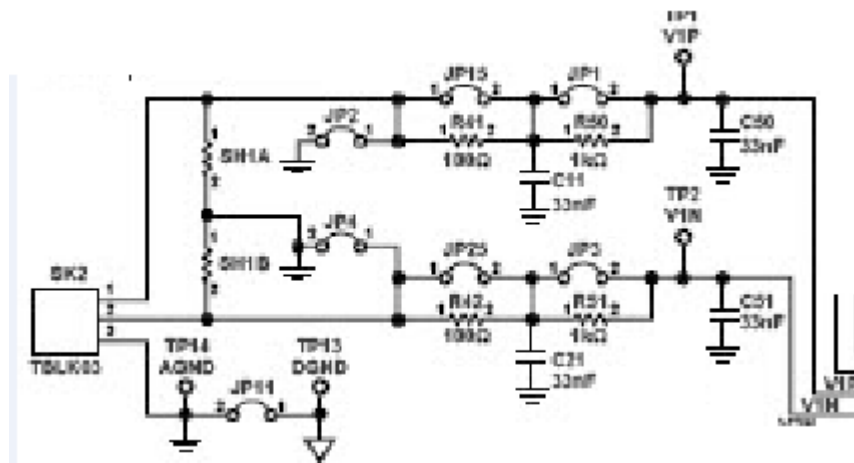


Fig.27 Circuito de implementación para la adquisición de señal de corriente.

Posterior a la implementación del acondicionamiento de señal se procedió a diseñar el circuito de comunicación del sensor el cual por funcionar con un voltaje de operación de 5 V se hizo necesario el uso de opto acopladores, para el acoplamiento de señales de 3.3 V que maneja el microcontrolador, además de la selección apropiada del opto acoplador ya que la frecuencia de operación de la comunicación van alrededor de 3.3 MHz, lo cual se escogió la referencia HPCL 2211, que maneja una frecuencia hasta de 9 MHz.

Posteriormente al desarrollar el montaje de operación del sensor se hizo un programa piloto en ARDUINO para el test de la comunicación SPI del sensor y calibración del mismo, cabe aclarar que la utilización de ARDUINO es con fines de instrumentación ya que no va hacer parte del sistema.

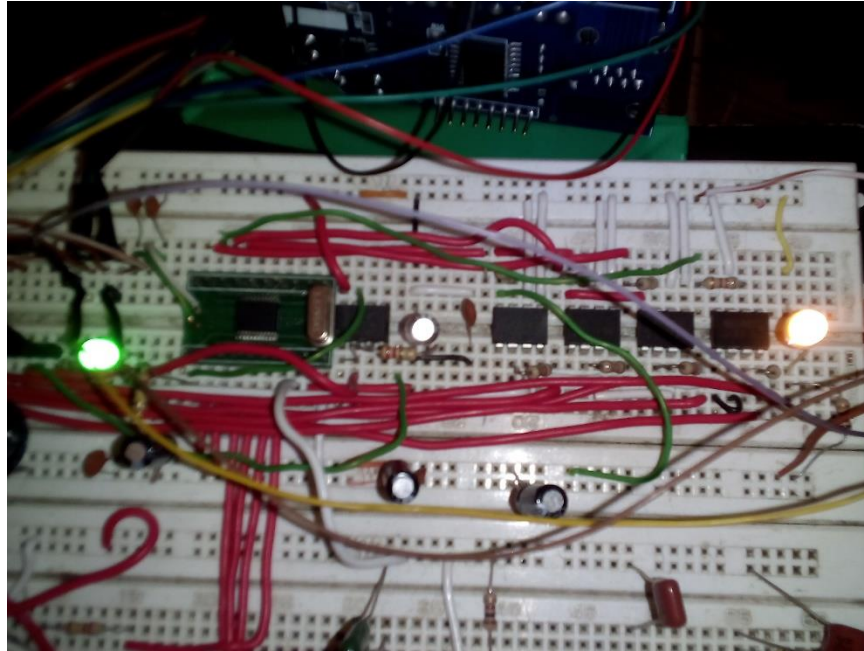


Fig.28 Montaje del sensor ADE7763

El diseño del servidor se implementó en el lenguaje de programación LABVIEW, en principio se hizo una comunicación síncrona con la terminal de adquisición en base a una trama de transmisión ya diseñada en la terminal el cual se describe:

Tabla 2.

Byte de inicio	ADDR	Longitud Datos (2B)		Datos (Comando + N Bytes)		BCC	Byte Final
0xAB	Dirección del equipo			Comando		Checksum	0xCD

Por ejemplo la descripción de polling del sistema que se hace de la siguiente forma:

Tabla 3. Trama enviada del servidor a la terminal

Byte de inicio	ADDR	Longitud Datos (2B)		Datos (Comando + N Bytes)		BCC	Byte Final
0xAB	0x18	0x00	0x05	0x00	Mensaje	Checksum	0xCD

Tabla 4. Respuesta de la terminal

Byte de inicio	ADDR	Longitud Datos (2B)		Datos (Comando + N Bytes)		BCC	Byte Final
0xAB	0x18	0x00	0x14	0x00	Datos de Tensión	Checksum	0xCD

Byte de inicio	ADDR	Longitud Datos (2B)		Datos (Comando + N Bytes)		BCC	Byte Final
0xAB	0x18	0x00	0x14	0x01	Datos de Corriente	Checksum	0xCD

Byte de inicio	ADDR	Longitud Datos (2B)		Datos (Comando + N Bytes)		BCC	Byte Final
0xAB	0x18	0x00	0x14	0x02	Datos de Potencia Activa	Checksum	0xCD

Byte de inicio	ADDR	Longitud Datos (2B)		Datos (Comando + N Bytes)		BCC	Byte Final
0xAB	0x18	0x00	0x14	0x03	Datos de Potencia Reactiva	Checksum	0xCD

El servidor tiene dos tareas principales que están en continua ejecución, una que es básicamente el monitoreo de la red eléctrica y la segunda es la atención de reportes de la terminal; pero existen otras utilidades que son tareas secundarias como actualización de fecha y hora del RTC de la terminal, actualización de firmware de la terminal para mejoras y sincronización del hardware, a continuación se describe la lista de comandos:

Tabla 5. Descripción de Comandos

Comando	Descripción
0x00	Polling
0x01	Voltaje medido de la red
0x02	Corriente medida en la red
0x03	Potencia Activa medida
0x04	Potencia Reactiva medida
0x05	Preparación de programación
0x06	Envío de Firmware
0x07	Instrucción de programación
0x08	Reporte de Medición de Energía
0x09	Actualización de Fecha
0x0A	Registro de Usuario
0x0B	Eliminar Usuarios

A partir de lo anterior tiene la gran ventaja que al haber una pérdida de comunicación la terminal de adquisición los reportes se almacenan en la misma y se descargan en el servidor al recuperar la comunicación TCP, a continuación se muestra la interfaz gráfica diseñada del servidor:

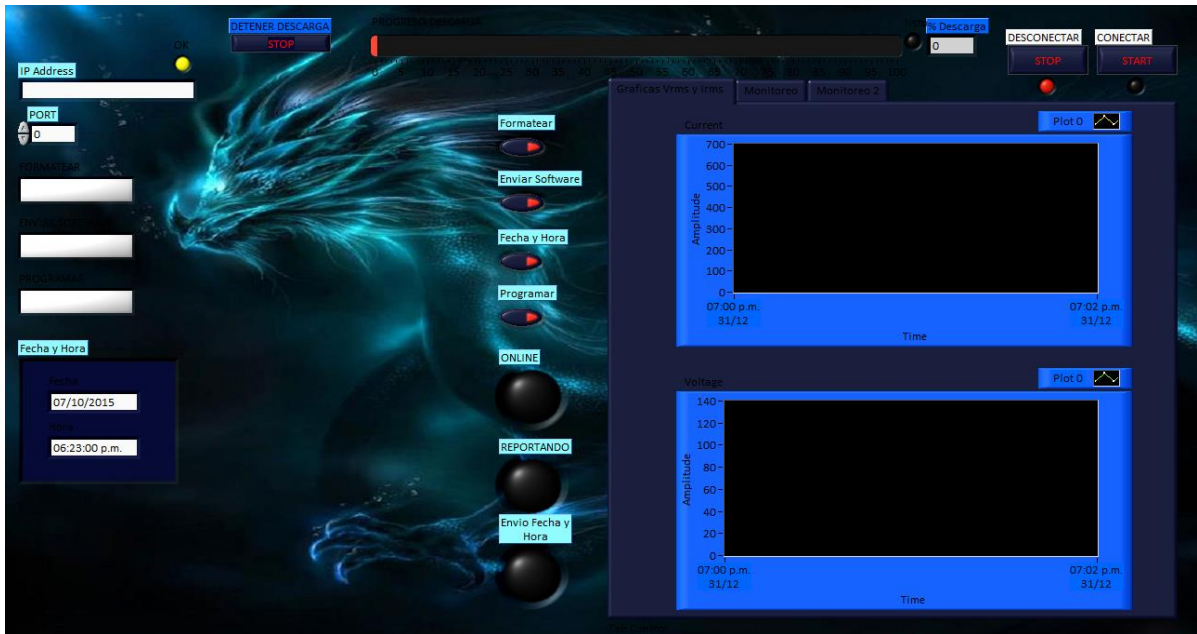


Fig.29 Interfaz Gráfica del servidor

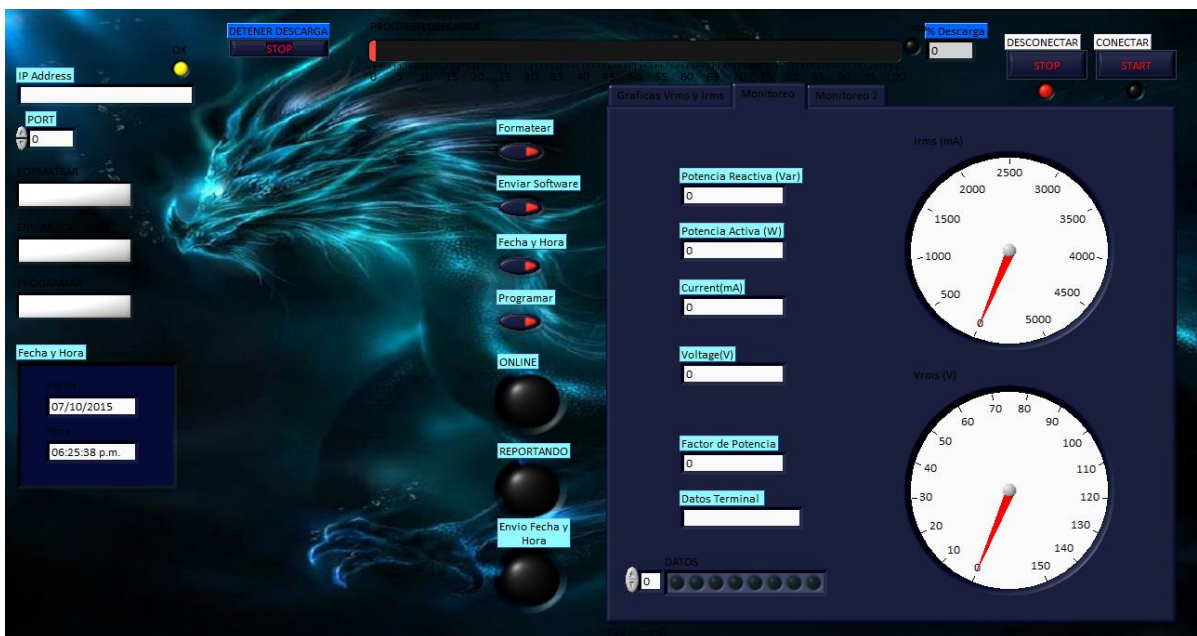


Fig.30 Interfaz Gráfica vista numero 2

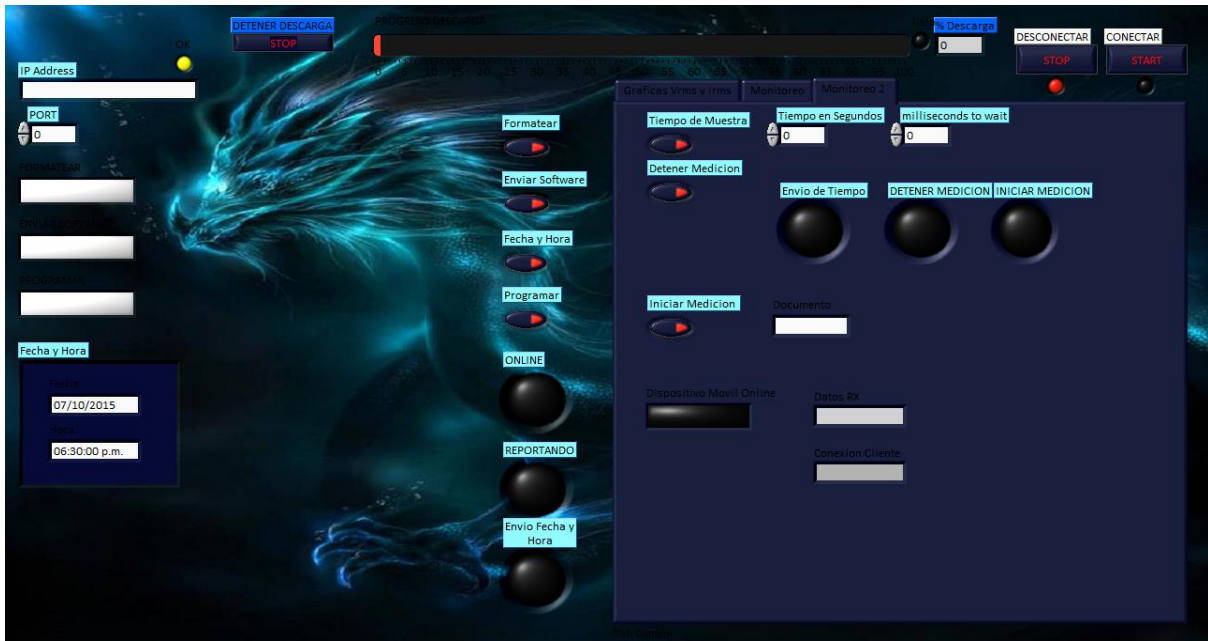


Fig.31 Interfaz Gráfica vista numero 3

A continuación se muestra un ejemplo de diagrama de comunicación de una de las funciones de comando, el cual se encarga de actualizar la fecha y hora de terminal descrita así:

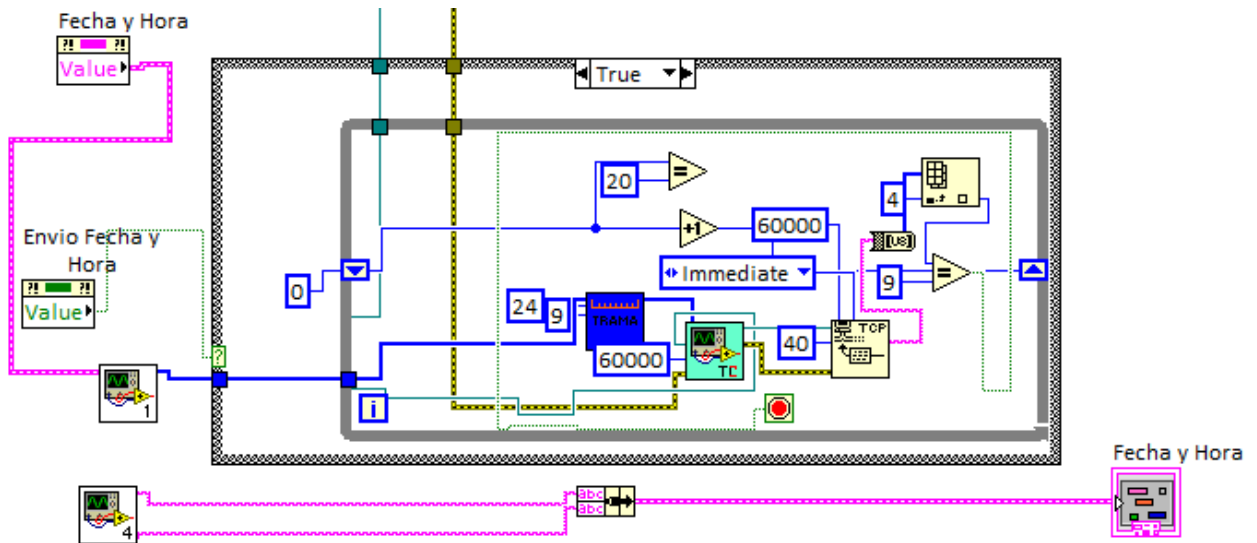


Fig.32 Diagrama de comando de actualización de fecha y hora

A partir de lo anterior y con ayuda de una herramienta de comunicación serial se puede testear la trama del protocolo TCP el cual se mostró anteriormente, a continuación en la fig.33 se muestra la llegada del polling por parte del servicio de LABVIEW y la respuesta por parte de la terminal.

Address	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	0a	0b	0c	0d	ASCII
0000:0000	AB	43	00	01	01	43	CD	AB	43	00	01	00	42	CD	«C. Cí«C. .Bí
0000:000e	AB	43	00	01	01	43	CD	AB	43	00	01	00	42	CD	«C. Cí«C. .Bí
0000:001c	AB	43	00	01	01	43	CD	AB	43	00	01	00	42	CD	«C. Cí«C. .Bí

Fig.33 Polling entre servicio LABVIEW y Terminal de adquisición.

La base de datos se hizo con ayuda de FireBird, y con SQL para FireBird se hacen la gestión las tablas y campos necesarios para el almacenamiento de información de consumo de energía y usuarios, tal como se muestra en la figura 34.

Table							
Indices	Triggers	Description	Data	Dependencies	Permissions	DDL	
Name: ADE7763							
Fields							
Field Name	Field Type	Domain	Not Null	Auto Inc	Default Source	Computed Source	Description
INDEX	BIGINT	RDB\$1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
ADE7763_CONSUMO	VARCHAR(25)	RDB\$7	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
ADE7763_FECHA	TIMESTAMP	RDB\$11	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
ADE7763_HORA	TIME	RDB\$12	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			

Fig.34 Campos Utilizados en la tabla ADE7763

Table			
Indices	Triggers	Description	Data
Find: []			
Drag a column header here to group by that column			
INDEX	ADE7763_CONSUMO	ADE7763_FECHA	ADE7763_HORA
1	214748,364700	02/11/2015	11:54:00 p.m.
2	7,401100	03/11/2015	12:08:00 a.m.
3	7,393300	03/11/2015	12:23:00 a.m.
4	7,559000	03/11/2015	12:37:00 a.m.
5	7,474900	03/11/2015	12:52:00 a.m.
6	7,442200	03/11/2015	01:07:00 a.m.
7	16,622900	03/11/2015	10:36:00 p.m.
8	13,649800	03/11/2015	10:51:00 p.m.
9	7,655700	03/11/2015	11:05:00 p.m.
10	7,582000	03/11/2015	11:20:00 p.m.
11	7,524800	03/11/2015	11:34:00 p.m.
12	7,859800	03/11/2015	11:48:00 p.m.
13	8,786000	04/11/2015	12:03:00 a.m.
14	3,481700	04/11/2015	12:17:00 a.m.
15	0,360200	04/11/2015	12:32:00 a.m.
16	0,360000	04/11/2015	12:46:00 a.m.
17	0,360000	04/11/2015	01:00:00 a.m.
18	0,360000	04/11/2015	01:15:00 a.m.
19	0,360000	04/11/2015	01:29:00 a.m.
20	0,360200	04/11/2015	01:44:00 a.m.
21	0,360000	04/11/2015	01:58:00 a.m.
22	0,360000	04/11/2015	02:12:00 a.m.
23	0,360000	04/11/2015	02:27:00 a.m.
24	0,360000	04/11/2015	02:41:00 a.m.

Fig.35 Prueba de almacenamiento de datos

El siguiente paso fue diseñar la comunicación de la base de datos con LABVIEW, y además de diseñar la consulta de la misma sin necesidad de tener que utilizar el editor SQL para FireBird; para esta se utilizó una herramienta de conectividad para bases de datos que posee LABVIEW de tal forma que se pueda manipular la base de datos directamente desde LABVIEW por medio de Query's, tal como se muestra en la figura3 y figura4.

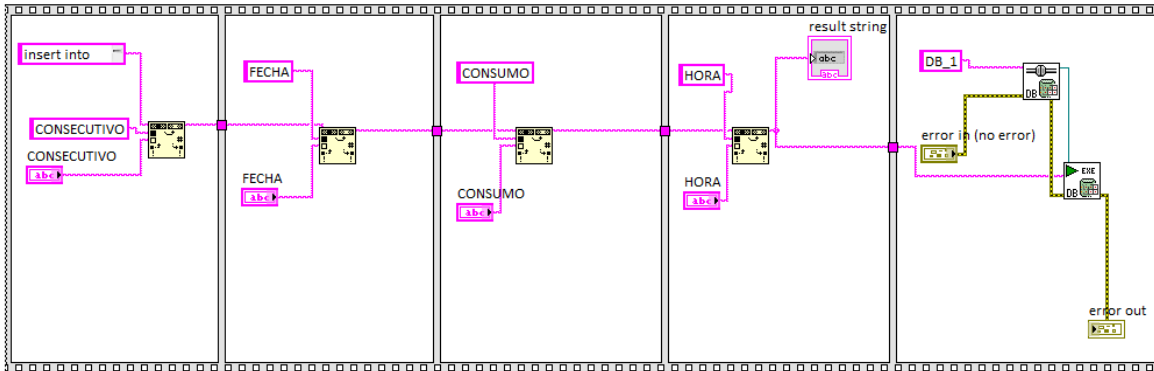


Fig.36 Diagrama de Bloques para la ejecución de almacenamiento de datos a la base de datos creada.

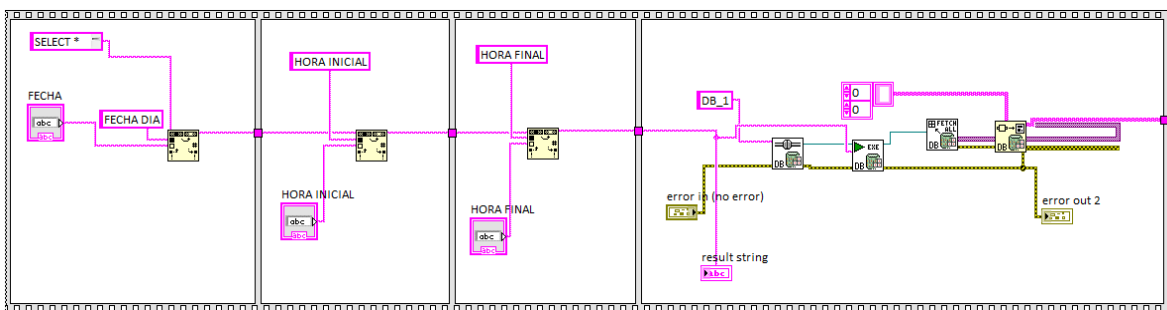


Fig.37 Diagrama de bloques para la consulta de la base de datos creada desde LABVIEW.

Apartir de lo anterior se hace la inclusión de la tarea en el servidor de la consulta de consumo de energía eléctrica por fechas y por hora, de tal forma que se tiene un seguimiento detallado de consumo tal como se muestra a continuación.

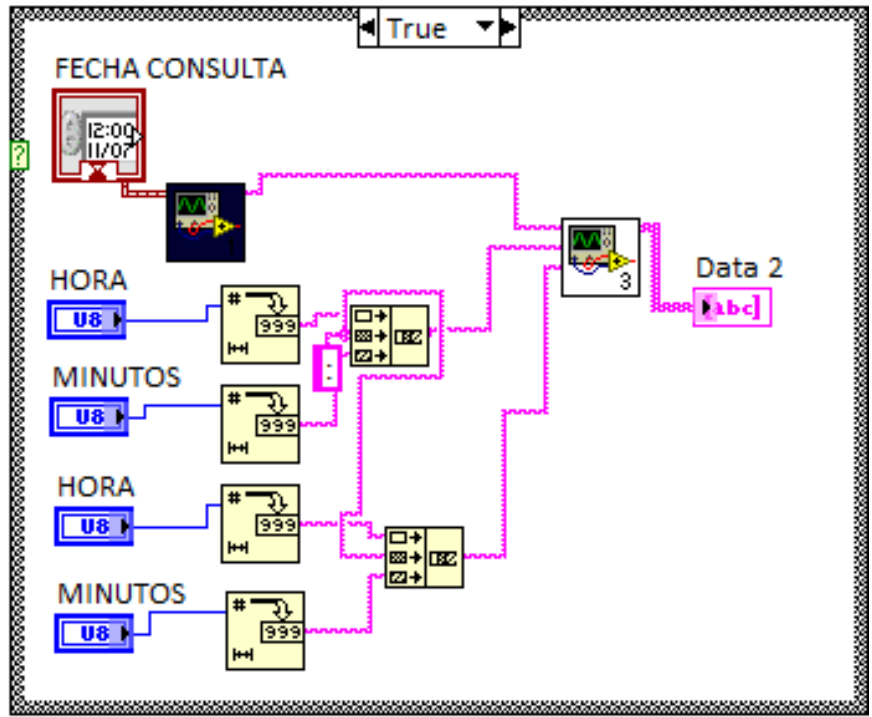


Fig.38 Tarea de consulta de consumo por fecha e intervalo de hora.

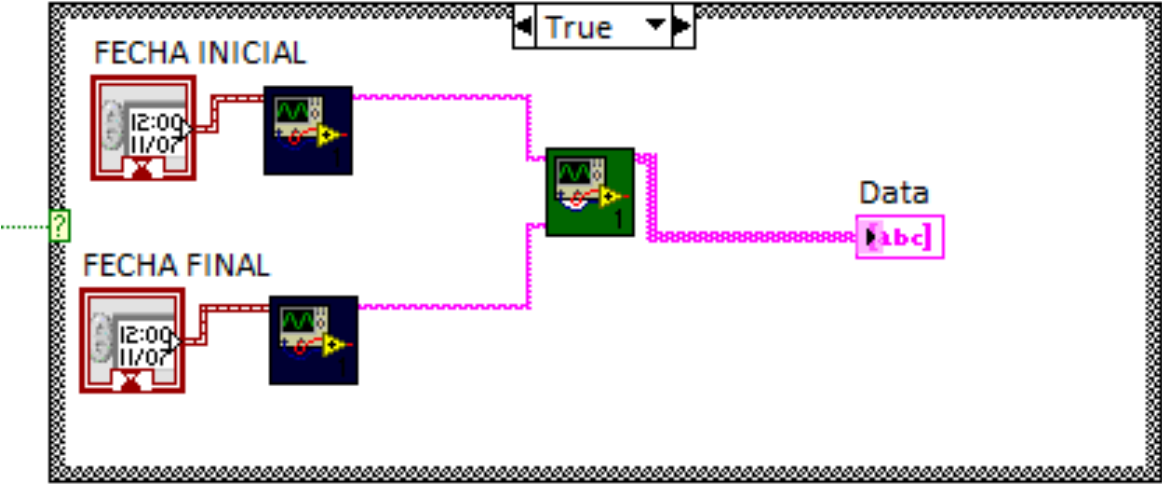


Fig.39 Tarea de consulta de consumo por intervalo de fechas

De lo anterior la interfaz grafica tambien tuvo cambios tal como se ve a continuacion:

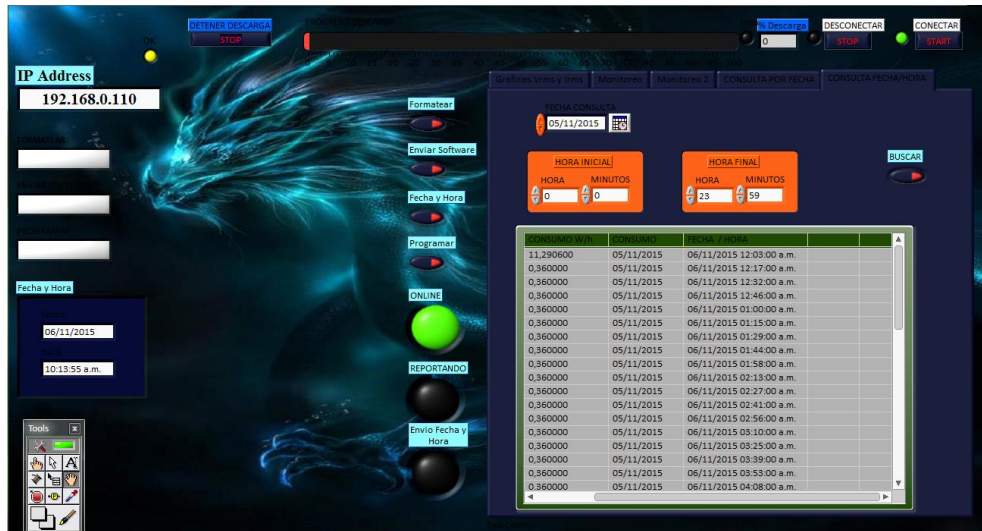


Fig.40 Inclusión de la tarea en el servidor, para la consulta de consumo directamente de la base de datos por fecha e intervalo por hora.

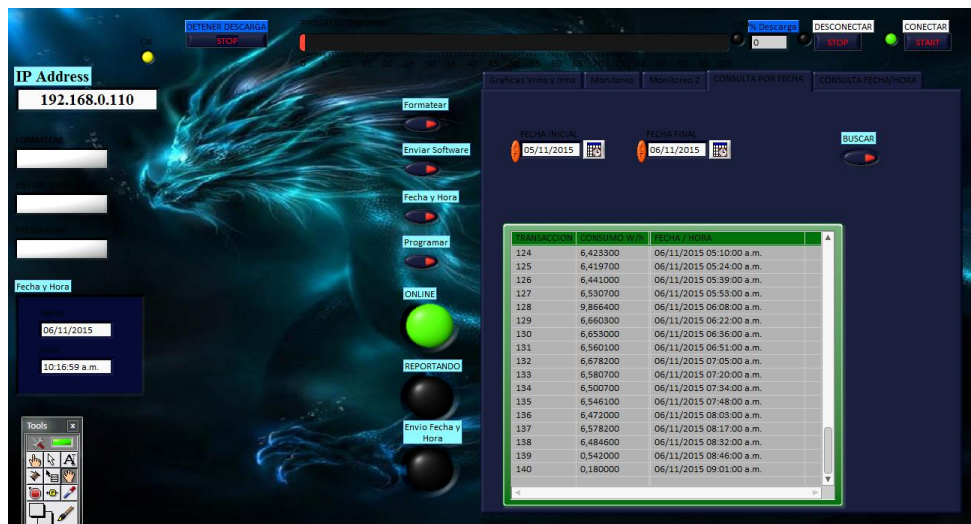


Fig.41 Inclusión de la tarea en el servidor, para la consulta de consumo por intervalo de fecha

Ya que todo motor de base de datos tiene una conexión ya sea por red interna o por internet se puede hacer directamente con la dirección IP del host y el puerto en específico que maneja FireBird, con esto se puede consultar directamente la base de datos y tener control de la misma. Para esto se tuvo que tener en cuenta que algunas librerías no están incluidas sobre Android, por lo que Kernel de Linux y algunos desarrolladores facilitan una librería para JAVA y Android, llamada JDBC que hace una conexión por protocolo TCP/IP. De lo anterior se hizo la inclusión en la aplicación móvil de la tarea de esta consulta tal como se muestra a continuación.



Fig.42 Inclusión de la tarea de la tarea de consulta de base de datos, introduciendo dirección IP y puerto de la base de datos.

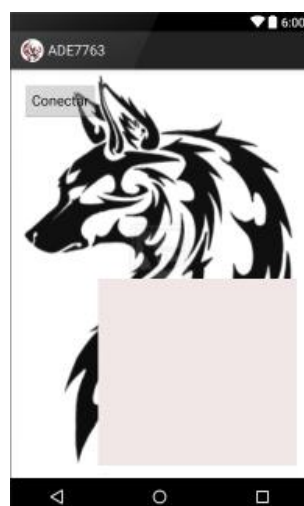


Fig.43 Inclusión de la vista de estadística de consumo de energía eléctrica a partir de la base de datos

11. RESULTADOS

11.1. CARACTERIZACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS UTILIZADOS EN LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

ADE7763: El integrado que se utilizó fue elegido entre diferentes sistemas de medición, como el uso de transformadores, divisores resistivos (OpenEnergyMonitor, s.f.), sensores (Ayari Ahlem, 2014) y otros medidores de energía como el CS5464 de la empresa CIRRUS LOGIC (Hilwadi Hindersah, 2011); algunos de estos no cumplen con los objetivos que se tienen dentro del desarrollo de la instalación eléctrica de topología variable; sea por razones de costo, de la dificultad de su adquisición, eficiencia, tamaño, complejidad, seguridad y precisión.

Este dispositivo cuenta con un ADCs (convertidor análogo-digital) y un DSP (procesador digital de señales) de función fija de alta precisión en variaciones de tiempo y condiciones ambientales (Devices, Single-phase active and apparent energy metering IC-ADE 7763, Application Note, 2009); incorpora el procesamiento de señal para realizar mediciones de energía activa, aparente y el cálculo RMS (*Root Mean Square* o valor eficaz) de la tensión. El integrador del chip proporciona una interfaz directa con sensores de corriente di/dt , tales como bobinas de Rogowski o sensores de efecto Hall (Gonzalez, 2008), eliminando la necesidad de un integrador analógico externo para estabilidad a largo plazo y adaptación de fase precisa entre la corriente y los canales de tensión.

El ADE7763 proporciona una interfaz de serie para leer los datos y una frecuencia de salida de impulsos (CF) que es proporcional a la potencia activa. Varias características del sistema de calibración como el canal de corrección del offset, calibración de fase y calibración de potencia aseguran una alta precisión; así como también detecta variaciones de alta o baja

El funcionamiento y procesamiento que lleva a cabo tanto el hardware como el software en conjunto, se basa en la obtención y análisis de los datos necesarios para realizar una gestión eficiente de la energía (Colombia, 2014) incluyendo fuentes de energía no convencionales de carácter renovable dentro de la instalación eléctrica residencial; permitiendo que el usuario y/o sistema propuesto sea capaz de hacer una toma de decisiones según ciertas condiciones, incluyendo la oferta y la demanda del recurso energético, dichas decisiones se verán reflejados en cambios directos sobre la topología de la instalación que conlleven a ciertos beneficios en cuanto al ahorro de energía, que estará directamente relacionado con el total facturado de consumo energético por el usuario. En la Figura 2 se presenta resumido el proceso de funcionamiento del trabajo conjunto entre el hardware y el software.

La verificación de la precisión en la toma de datos es importante para el desarrollo del prototipo; para esto, como ya se especificó se utilizó un microcontrolador de la familia NXP. A continuación se muestra la calibración efectuada de los canales de tensión y corriente.

11.1.1. Canal de Tensión

Tabla 6: Caracterización del canal 2 Tensión ADE7763. efectuó pruebas nuevamente para verificar el error porcentual con respecto al valor real medido con la ayuda de un analizador de redes profesional con los que cuenta el laboratorio de ingeniería eléctrica como lo es el PQA 824 de *HT Instruments®* (Produtec) que cumple con normas internacionales entre ellas la EN50160, los resultados de las medidas y la comparación se pueden observar en la Tabla .

Medida de tensión por el Divisor de Tension [Voltios]	Valor del registro de Tensión del ADE7763	Promedio	Tensión de prueba medida por el Osciloscopio [Voltios]	Voltaje Leído en el <i>LPC2364</i> con el ADE7763	Promedio [Voltios]	Error%		
10.1	361	388	374.5	10.2	12	13	12.5	22.549
20	594	623	608.5	20.5	19	21	20	2.439
30.5			885	30.4	29	30	29.5	2.96
40.3			1145.5	40.8	39	41	40	1.96
49.9			1404.5	50.3	48	50	49	2.584
60.3			1693.5	60.3	58	60	59	2.155
70.4			1964.5	70.3	68	70	69	1.849
80.5			2254.5	81.3	79	82	80.5	0.984
90.3	869	901	2517	90.2	89	91	90	0.221
100.5	1122	1169	2797.5	99.4	98	101	99.5	0.1
	1381	1428						
	1666	1721						
	1932	1997						
	2226	2283						
	2479	2555						
	2768	2827						
	3017	3115						
	3297	3393						
	3592	3697						
	3941	4012						
110.1			3066	111.8	111	113	112	0.178
120			3345	120.8	119	122	120.5	0.248
130.5			3644.5	130.8	129	133	131	0.152
142			3976.5	142	140	145	142.5	0.352

Se realizó la caracterización del integrado de acuerdo a los datos obtenidos para diferentes niveles de tensión, con estos valores en el software se implementó la ecuación lineal

obtenida, y se aclara que el rango de medida de tensión del ADE está delimitado por el divisor de tensión que se realizó para garantizar que la señal de entrada del mismo no supere los 0,5 Voltios pico [Vp]; dándose así un nivel máximo de entrada de 150 Voltios RMS (Root Mean Square) [Vrms]. Gracias a esto se pudo obtener un rango de operación para un error mínimo entre 80 y 140 [Vrms], que es lo que se esperaba, ya que la tensión nominal de alimentación para una instalación eléctrica residencial en Colombia es de 120 [Vrms]. La escala manejada en el medidor de energía para tensión está en Voltios RMS [Vrms].

En la Figura 44 se muestran los valores obtenidos con el ADE7763 sin calibrar mediante la comunicación con el *Arduino* versus el nivel de tensión aplicado, a partir de esto se calibra el integrado y se procede a realizar pruebas presentando un grado de precisión menor al 1% en tensiones entre 80 a 140 [V].

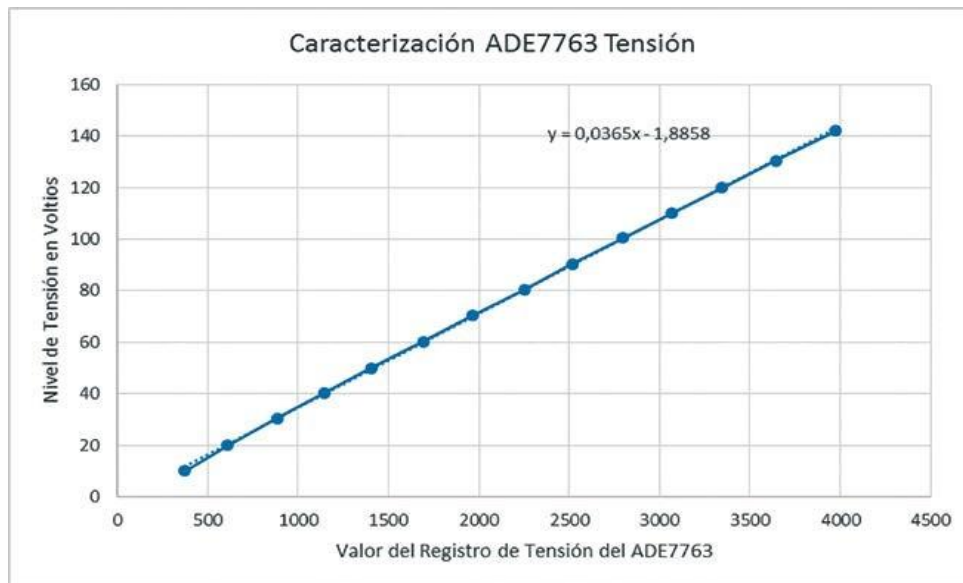


Fig.44 Caracterización de Tensión medida con el ADE7763.

11.1.2. Canal de Corriente

Para el canal de corriente se utilizó un sensor CSE187L con sensibilidad de 100mV por amperio y se realizó el mismo procedimiento de acoplarlo al sensor ya descrito en acápites anteriores.

Los datos obtenidos son los que se observan en la Tabla 7, cabe agregar que para el error porcentual determinado en este canal se utilizó un multímetro, ya que el CSE187L que se usó para el canal de tensión nos proporciona una corriente aproximada y no con la resolución necesaria para realizar una correcta comparación con el circuito diseñado.

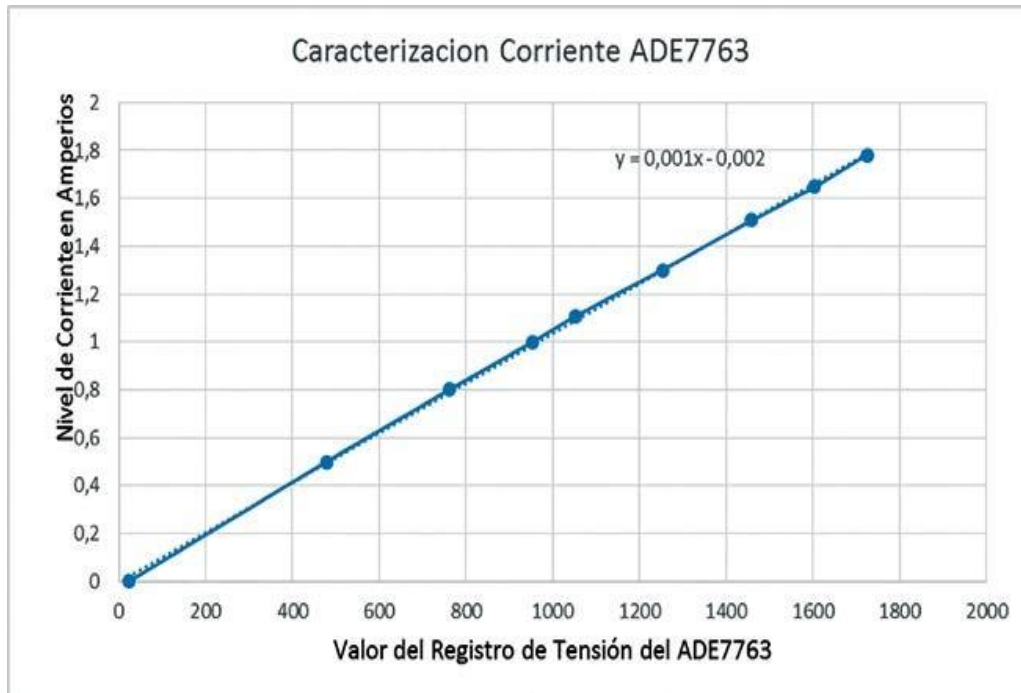


Fig.45 Caracterización de Tensión medida con el ADE7763.

El canal de corriente presenta un grado de precisión de $\pm 2\%$, lo cual es un error aceptable para tener un buen control sobre el circuito que se desea conmutar a una fuente de energía renovable.

La ecuación de la curva que representa el comportamiento de la calibración y que está en el software es: $Y = 0,001X + 0,0128$

Para el acondicionamiento de la señal de entrada de corriente se implementó un amplificador diferencial que garantiza que la entrada en el canal de corriente no superara los 0,5 Voltios pico [Vp] y que el offset del sensor que es de 2.5 Voltios DC [Vdc] no afectara la medida reduciéndolo a 0.6 [Vdc]; como se mencionó anteriormente el CSE187L de 30 [A] tiene una sensibilidad de 100 mV por amperio [A] generando que con este sensor se tenga un rango de operación de 0 a 3,6 Amperios RMS [Arms] aunque cabe resaltar que hay más sensores de esta referencia que pueden ser utilizados con el mismo acondicionamiento de la señal y que tienen una sensibilidad menor como lo es el ACS714 de 20 A[RMS] con una sensibilidad de 60 mV y que unido al ADE tendría un rango de operación de 0 a 11 A[RMS]. La escala manejada en el medidor de energía para corriente está en Amperios RMS A [RMS].

Tabla 7: Caracterización del canal 1 corriente ADE7763.

Valor del registro de corriente del ADE7763		Promedio	Corriente Medida por el Multímetro [Amperios]	Corriente Leída en el LPC2364 con el ADE7763 calibrado[Amperios]	Error%
18	19	18.5	0	0	0
113	114	113.5	0.14	0.14	0
270	271	270.5	0.24	0.242	0.833
461	462	461.5	0.48	0.477	0.625
681	682	681.5	0.7	0.689	1.571
970	972	971	1.03	1.012	1.747
1172	1173	1172.5	1.2	1.18	1.666
1454	1456	1455	1.49	1.461	1.946
1546	1549	1547.5	1.6	1.563	2.312
1646	1648	1647	1.69	1.658	1.893
1719	1721	1720	1.77	1.734	2.033

11.2. Resultados de Historial de consumo

Las mediciones de energía eléctrica se hicieron en un intervalo de 2 meses sin intervenir el sistema, solo se intervino de forma remota si era necesario algún tipo de calibración o ajuste software para mejorar la comunicación entre dispositivos, pero siempre estuvo funcional las 24 horas del día, durante los meses de diciembre y enero; y como se describió en acápite anteriores el servicio de LABVIEW y la aplicación de ANDROID tienen la capacidad de mostrar en intervalos de fecha el consumo acumulado de energía eléctrica, en la tabla 8 se muestra el consumo del mes del 21 de enero de 2016, y como se guarda los registros con ayuda de FireBird en una base de datos.

Tabla 8. Consumo de energía 21 de Enero de 2016

FECHA	HORA	CONSUMO	UNIDADES	CONSECUTIVO
21/01/2016	23:50	0,09	W/h	<2097>
21/01/2016	23:35	0,09	W/h	<2096>
21/01/2016	23:21	0,09	W/h	<2095>
21/01/2016	23:06	0,09	W/h	<2094>
21/01/2016	22:52	0,0908	W/h	<2093>
21/01/2016	22:37	0,09	W/h	<2092>
21/01/2016	22:23	0,09	W/h	<2091>
21/01/2016	22:08	0,09	W/h	<2090>

21/01/2016	21:54	0,09	W/h	<2089>
21/01/2016	21:39	0,09	W/h	<2088>
21/01/2016	21:25	0,09	W/h	<2087>
21/01/2016	21:11	0,09	W/h	<2086>
21/01/2016	20:56	0,09	W/h	<2085>
21/01/2016	20:42	0,09	W/h	<2084>
21/01/2016	20:27	0,09	W/h	<2083>
21/01/2016	20:13	0,09	W/h	<2082>
21/01/2016	19:59	0,09	W/h	<2081>
21/01/2016	19:44	0,09	W/h	<2080>
21/01/2016	19:30	0,09	W/h	<2079>
21/01/2016	19:15	0,09	W/h	<2078>
21/01/2016	19:01	0,09	W/h	<2077>
21/01/2016	18:47	0,09	W/h	<2076>
21/01/2016	18:32	0,09	W/h	<2075>
21/01/2016	18:18	0,09	W/h	<2074>
21/01/2016	18:03	0,09	W/h	<2073>
21/01/2016	17:49	0,09	W/h	<2072>
21/01/2016	17:35	0,09	W/h	<2071>
21/01/2016	17:20	0,09	W/h	<2070>
21/01/2016	17:06	0,09	W/h	<2069>
21/01/2016	16:51	0,09	W/h	<2068>
21/01/2016	16:37	0,09	W/h	<2067>
21/01/2016	16:23	0,09	W/h	<2066>
21/01/2016	16:08	0,09	W/h	<2065>
21/01/2016	15:54	0,09	W/h	<2064>
21/01/2016	15:39	0,09	W/h	<2063>
21/01/2016	15:25	0,09	W/h	<2062>
21/01/2016	15:11	0,09	W/h	<2061>
21/01/2016	14:56	0,09	W/h	<2060>
21/01/2016	14:42	0,09	W/h	<2059>
21/01/2016	14:27	0,09	W/h	<2058>
21/01/2016	14:13	0,09	W/h	<2057>
21/01/2016	13:59	0,09	W/h	<2056>
21/01/2016	13:44	0,09	W/h	<2055>
21/01/2016	13:30	0,09	W/h	<2054>
21/01/2016	13:15	0,09	W/h	<2053>
21/01/2016	13:01	0,09	W/h	<2052>
21/01/2016	12:46	0,09	W/h	<2051>
21/01/2016	12:32	0,09	W/h	<2050>
21/01/2016	12:18	0,09	W/h	<2049>

21/01/2016	12:03	0,09	W/h	<2048>
21/01/2016	11:49	0,09	W/h	<2047>
21/01/2016	11:34	0,09	W/h	<2046>
21/01/2016	11:20	0,09	W/h	<2045>
21/01/2016	11:06	0,09	W/h	<2044>
21/01/2016	10:51	0,09	W/h	<2043>
21/01/2016	10:37	0,09	W/h	<2042>
21/01/2016	10:22	0,09	W/h	<2041>
21/01/2016	10:08	0,09	W/h	<2040>
21/01/2016	09:54	0,09	W/h	<2039>
21/01/2016	09:39	0,09	W/h	<2038>
21/01/2016	09:25	0,0901	W/h	<2037>
21/01/2016	09:10	0,09	W/h	<2036>
21/01/2016	08:56	0,111	W/h	<2035>
21/01/2016	08:42	0,09	W/h	<2034>
21/01/2016	08:27	0,0901	W/h	<2033>
21/01/2016	08:13	0,0901	W/h	<2032>
21/01/2016	07:58	0,09	W/h	<2031>
21/01/2016	07:44	0,09	W/h	<2030>
21/01/2016	07:30	0,09	W/h	<2029>
21/01/2016	07:15	0,09	W/h	<2028>
21/01/2016	07:01	0,09	W/h	<2027>
21/01/2016	06:46	0,09	W/h	<2026>
21/01/2016	06:32	0,09	W/h	<2025>
21/01/2016	06:17	0,09	W/h	<2024>
21/01/2016	06:03	0,09	W/h	<2023>
21/01/2016	05:48	0,09	W/h	<2022>
21/01/2016	05:33	0,09	W/h	<2021>
21/01/2016	05:19	0,09	W/h	<2020>
21/01/2016	05:04	0,09	W/h	<2019>
21/01/2016	04:49	0,09	W/h	<2018>
21/01/2016	04:35	0,09	W/h	<2017>
21/01/2016	04:20	0,09	W/h	<2016>
21/01/2016	04:05	0,09	W/h	<2015>
21/01/2016	03:51	0,09	W/h	<2014>
21/01/2016	03:36	0,09	W/h	<2013>
21/01/2016	03:21	0,09	W/h	<2012>
21/01/2016	03:07	0,09	W/h	<2011>
21/01/2016	02:52	0,09	W/h	<2010>
21/01/2016	02:37	0,09	W/h	<2009>
21/01/2016	02:23	0,09	W/h	<2008>

21/01/2016	02:08	0,09	W/h	<2007>
21/01/2016	01:53	0,09	W/h	<2006>
21/01/2016	01:38	0,09	W/h	<2005>
21/01/2016	01:24	0,09	W/h	<2004>
21/01/2016	01:09	0,09	W/h	<2003>
21/01/2016	00:54	0,09	W/h	<2002>
21/01/2016	00:40	0,09	W/h	<2001>
21/01/2016	00:25	0,09	W/h	<2000>
21/01/2016	00:10	0,09	W/h	<1999>

En los parámetros del servidor de LABVIEW es ajustable el tiempo de muestra de consumo, de tal manera que se para la prueba se hizo cada 15 minutos; así como se muestra en la tabla 8.

12. CONCLUSIONES

- Dentro del desarrollo de la calibración se utilizaron dos (2) integrados de las mismas especificaciones de los cuales se pudo observar que el comportamiento de cada uno es diferente; por lo que se concluyó que siempre se debe efectuar calibración para cualquier sistema de medida que utilice el ADE7763. Esto quiere decir que para una aplicación comercial de este dispositivo se debe contar con un sistema de calibración para cada componente que se fabrique. Esta calibración se hace ajustado el algoritmo en software.
- En la medición de tensión se concluyó que rangos menores a 20V no son leídos por el integrado de manera adecuada, esto se debe a que la ganancia que se toma es por defecto; para el rango hasta 0.5V los valores de tensión pequeños tienen un error mayor, situación no preocupante ya que en una instalación eléctrica residencial los valores de tensión están alrededor de 120V, y para el sistema probado presenta un error de 0.22%, que es aceptable por las normas. Para la medición de corriente se tienen errores cercanos al +/- 2%, sin embargo se observa que para la medida de corrientes pequeñas, el sistema es bastante preciso, razón que lo hace confiable para medir circuitos de alumbrado especialmente con bombillos economizadores de energía o de tipo LED, que serían los circuitos elegibles para conmutar a las fuentes de energía renovable.
- El error porcentual determinado para el sistema de medición tiene mejores respuestas para la medida de voltaje, toda vez que la señal se toma de manera directa a través de divisores resistivos, dando resultados cercanos al 0,2% lo que quiere decir que según norma ANSI C12.20 la clase de precisión para este sistema de medición es clase 0.2; en tanto que para la medida de corriente los resultados son cercanos al 2%, por lo que

requiere realizar ajustes en el algoritmo de muestreo y cuantificación de la señal tomada, que serán motivo para la continuación de la presente investigación, hasta obtener la conformidad con las normas para solicitar la homologación de este sistema de medida.

13. BIBLIOGRAFÍA

[1]] SISTEMA DE GESTION DE LA ENERGIA GUIA PARA LA INPLEMENTACION

Autores: Juan Carlos Campos Avella, Ph.D.

Edgar Lora Figueroa, M.Sc.

Año: 2008

[2] GESTIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA: CÁLCULO DEL CONSUMO, INDICADORES Y MEJORA.

Autores: Antonio Carretero Peña y Juan Manuel García Sánchez.

Año: 2012

[3] EFICIENCIA EN EL USO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA.

Autores: Jordi Autonell, Josep Balcells, Joan Brossa y Francesc Fornieles.

Año: 2011 (1ª Edición)

[4] EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LOS EDIFICIOS.

Autor: José María Fernández Salgado.

Año: 2011 (1ª Edición).

[5] CURSO PROGRAMACIÓN ANDROID V2

Autor(es): Salvador Gómez Oliver

Publicación: 2011

Editorial: Autoedición

[6] S.M.L.V Trinidad Orozco Forero, Modelo Filosofía Institucional - Facultad de Educación, Bogotá, 2012

[7] Diseño de un sistema SCADA con protocolo Modbus para el control de variables de seguridad, ahorro energético y confort por medio de un PLC.

Autor(es): Andrés Felipe González González

Christian David Valderrama Vargas

Publicación: 2013

Editorial: Autoedición

[8] Caracterización Tecnológica de la Topología de un Sistema de Gestión Energética Residencial.

Autor(es): Walter Gómez Rodríguez

Gustavo Adolfo Archila Ramírez

Publicación: 2012

Editorial: Autoedición

[9] NTC 4052: 2000, Medidores estáticos de energía clase 1 y 2.

[10] NTC 2288: 1996, Medidores de Energía activa de corriente alterna clase 0.5, y clase 1.

[11] NTC 4856: Verificación inicial y periódica de medidores de energía.

[12] <http://www.xm.com.co/Pages/DescripciondelSistemaElectricoColombiano.aspx>