

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-10-19

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE MEDIDOR DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE BAJO COSTO BASADO EN INTERNET DE LAS COSAS.

Autores:

Jhonatan Galeano Izasa.
Wolsey Osmin Rubio Gil.

Programa Académico:

Ingeniería Mecatrónica.

Tutor: Juan Sebastián Botero Valencia.

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO
19 de octubre de 2017

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-10-19

RESUMEN

En este trabajo se diseña, implementa y valida un sistema de medición de bajo costo para el monitoreo de consumo eléctrico en internet, mediante un módulo de medición industrial **SDM220**, un sistema de desarrollo **NODEMCU** para IoT y la plataforma **Ubidots**, donde estos permitieron realizar de manera simple y eficiente la medición de variables como: voltaje, corriente, potencia, frecuencia, factor de potencia, consumo kWh y su posterior publicación en internet.

Se le realizó una validación del sistema mediante dispositivos de instrumentación de alta precisión como: EL osciloscopio mixto **TEKTRONIX MSO4000**, el **FLUKE 117 TRUE RMS MULTIMETER** y la pinza amperimétrica **Bk precision 316**, se obtuvieron buenos resultados en los datos obtenidos del sistema en comparación de los instrumentos ya mencionados.

Palabras claves: NODEMCU, SDM220, Ubidots, IoT, ModBus, rs232.

ABSTRACT: This work is designed, implemented and validated a low-cost measurement system for the monitoring of electricity consumption on the internet, using an SDM220 industrial measurement module, a NODEMCU development system for IoT and the Ubidots platform, Simple and efficient way to measure variables such as voltage, current, power, frequency, power factor, kWh consumption and its subsequent publication on the internet.

A system validation was performed using high-precision instrumentation devices such as the TEKTRONIX MSO4000 mixed oscilloscope, the FLUKE 117 TRUE RMS multimeter, and the Bk precision 316 amperometric clamp, good results were obtained in the data obtained from the system in comparison to the instruments already mentioned.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-10-19

RECONOCIMIENTOS

Extendemos nuestros más amplio y afectuoso agradecimiento al docente y asesor Juan Sebastián botero valencia por paciencia y aporte a este trabajo y nuestras familias por su apoyo incondicional.

“Sólo hay felicidad donde hay virtud y esfuerzo serio, pues la vida no es un juego”.
(Aristóteles).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-10-19

Tabla de Contenido

1.	INTRODUCCIÓN.....	6
2.	OBJETIVOS.....	7
2.1	General.....	7
2.2	Específicos	7
3.	MARCO TEÓRICO.....	8
3.1.	NodeMCU.....	8
3.2.	SDM22.....	9
3.3.	Módulo RS485.....	10
3.4.	Fuente de poder HLK-PM01.....	11
3.5.	Caja estanca cuadrada.....	13
3.6.	Prensa-estopa.....	13
3.7.	Clavijas machos y hembras.....	14
3.8.	Protocolo TCP/IP.....	15
3.9.	FLUKE 117 TRUE RMS MULTIMETER.....	16
3.10.	Bk precisión (Pinza amperimétrica).....	17
3.11.	Reóstato.....	18
3.12.	Arduino IDE	19
3.13.	Plataforma Ubidots.....	20
3.14.	Osciloscopio TEKTRONIX MSO4000	20
3.15.	Potencia Activa	21
3.16.	Potencia Aparente:.....	22
3.17.	Factor de potencia.....	22
3.18.	Autodesk EAGLE.....	22
3.19.	Internet of things(IoT).....	23
3.20.	Cloud and Big-Data	23
3.21.	Monitoreo de consumo energético hogares.....	23
4.	METODOLOGÍA.....	24
4.1.	Descripción general del sistema.....	24
4.2.	Diseño y esquematización del sistema.....	25

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-10-19

4.3.	Implementación del sistema.....	26
4.3.1.	Alimentación.....	26
4.3.2.	Sensado.....	28
4.3.3.	Comunicación.....	29
4.3.4.	Adquisición de datos.....	30
4.3.5.	Servidor IoT:.....	30
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	33
5.1.	Resultados:.....	33
5.2.	Discusiones.....	36
6.	CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO.....	38
6.1.	Conclusiones.....	38
6.2.	Recomendaciones.....	38
6.3.	Trabajos futuros.....	39
	REFERENCIAS.....	40
	APÉNDICE.....	41
	• Apéndice A: Librería.....	41
	• Apéndice B: Código fuente.....	50
	• Apéndice C: Esquemático PCB.....	55
	• Apéndice D: Diagrama de conexión del sistema.....	57

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-10-19

1. INTRODUCCIÓN

El aumento del uso de internet a nivel mundial y los chips electrónicos que incorporan conectividad a internet han causado que el tan mentado IoT tome mucha fuerza en los últimos años, en sectores como: el industrial, automotriz, urbano, transporte, energía y salud. El IoT es la interconectividad de los objetos, cosas o artefactos a internet, con el fin de compartir datos entre ellos o personas para monitoreo y procesamiento de información a nivel global con el fin de tomar decisiones en optimización de procesos o productos.

Este proyecto tiene como fin ajustar un sistema de bajo costo usando herramientas IoT para la medición de consumo de energía eléctrica en redes AC de hogares e industrias, donde se pretende medir variables como: corriente, voltaje, potencia eléctrica, factor de potencia eléctrica y frecuencia. Este desarrollo se llevará a cabo con sensores de bajo costo disponibles en el mercado, los cuales se ajustarán o calibrarán mediante hardware y/o software a las mediciones entregadas por un dispositivo de calidad industrial con la funcionalidad requerida. Este trabajo está enmarcado en tareas de investigación del laboratorio de Sistemas de Control y Robótica y hace parte de la línea de trabajo en IoT.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-10-19

2. OBJETIVOS

2.1 General

Diseñar e implementar un sistema de bajo costo que permita realizar la medición de consumo eléctrico en hogares e industrias para su posterior monitoreo en internet (basado en IoT).

2.2 Específicos

- Obtener la medición de las variables físicas como: voltaje, corriente, frecuencia y ángulo de fase.
- Establecer comunicación entre los elementos de medición, cómputo y telemetría.
- Obtener el cálculo de las variables: potencia activa, potencia aparente, factor de potencia y consumo eléctrico en kWh.
- Crear y habilitar conexión entre una plataforma IoT y el sistema de medición de consumo para el monitoreo en tiempo real.
- Diseñar una tarjeta electrónica que incorpore los módulos de alimentación, comunicación y sistema de adquisición de datos.
- Plantear y prototipar el diseño compacto de una caja para ensamblar o acoplar los diferentes componentes del medidor de consumo eléctrico.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. NodeMCU.

Es una placa de desarrollo de código abierto diseñada especialmente para el IoT basada en el chip de ESP8266-12 de la empresa china espressif, que puede ser programado en varios lenguajes interpretados como: lua, python, java y compiladores c, c++, entre otros. Este módulo es sencillo de usar, lo cual permite desarrollar prototipos en muy poco tiempo con una arquitectura muy similar al de la tarjeta de adquisición de datos más popular en el mercado como Arduino.

Este sistema tiene potentes capacidades en procesamiento que permite integrarse con otros dispositivos y sensores a través de sus GPIO para crear tareas específicas. Esta tarjeta es muy conocida ya que integra wifi dentro del mismo microcontrolador, más conocido como un un SoC(system on chip), que tiene como fin compartir gran cantidad de datos ya sea con otro dispositivo o con internet(nube) para hacer monitoreo en tiempo real.

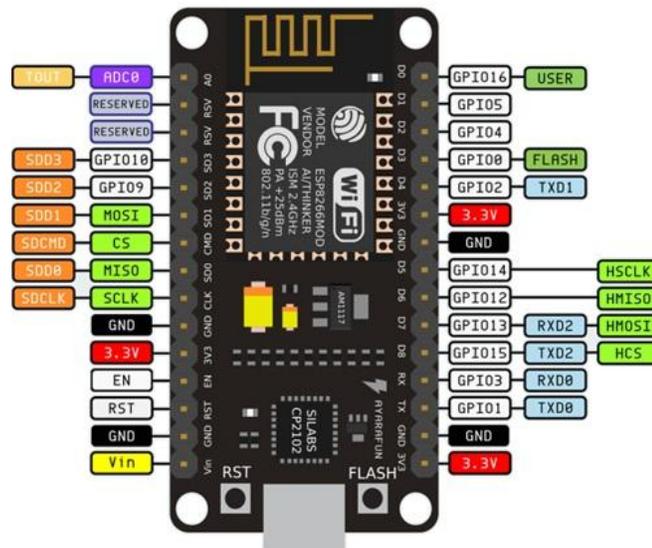


Figura 1: Módulo NodeMCU V3 basado en chip ESP8266-12

Recuperado de: <http://www.esploradores.com/comparacion-de-placas-nodemcu/>

Tabla 1. Características principales de módulo NodeMCU

Nombre	Valor
Procesador ESP8266-12	32 bits a 80 MHz.
IRAM.	35K.
DRAM.	80K.
Memoria Flash.	32 megabits (4 MegaBytes).
Tensión de trabajo	3.3V.
Intensidad de consumo.	50mA.
Protocolo.	802.11b/g/n, Stack TCP/IP, Wifi Direct(P2P) Soft-AP.
Interface WIFI.	2,4 Ghz
input-output	10 GPIO, PWM, I2C, serial TTL, análoga
Usb	TTL

3.2. SDM22.

Es un módulo de medición de energía monofásico de alta precisión de aplicabilidad industrial y residencial, permite medir variables de energía, como voltaje, corriente, potencia, factor de potencia, VA entre otros, además cuenta con un puerto de común comunicación ModBus(rs485) y una pantalla de visualización de todas las variables anteriormente mencionadas.



Figura 2. Medidor de Energía Monofásico Modbus Recuperado de: <http://www.eastrongroup.com/productsview/49.html>

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-10-19

Tabla 2. Características de Medidor de energía SDM220

Nombre	Valor
Voltaje AC	230V
Rango de voltaje	176 ~276 VAC
Corriente base (Ib)	10A
Corriente Máxima (Imax)	80 A
Corriente Mínima (Imin)	0.5 A
Corriente de arranque	0.4% de Ib
Consumo de energía	<2W/10VA
Frecuencia	50/60 Hz (+/- 10%)
Resistencia de corriente alterna	4KV/min
Velocidad de salida de pulso por defecto	1000 imp/kWh
Velocidad de salida de pulso configurable	1000imp/kWh (default) 100/10/1 imp/kWh/kVarh(cofigurable)
Pantalla LCD	Luz azul
Máxima lectura	99999.99kWh

3.3. Módulo RS485.

Es un módulo de comunicación basado en el chip MAX485, el cual es un transceptor de baja potencia y con velocidades de respuestas limitadas. Esta tarjeta permite crear una interfaz de comunicación RS485 a TTL.

El protocolo RS485 es un sistema tipo Bus multipunto diferencial, ideal para transmitir a altas velocidades en largas distancias desde 35 Mbits hasta 10 metros y 100 kbits en 1200 metros. Es un protocolo utilizado en el campo industrial por su robustez, con fácil implementación y prestaciones al momento de ensamblar.

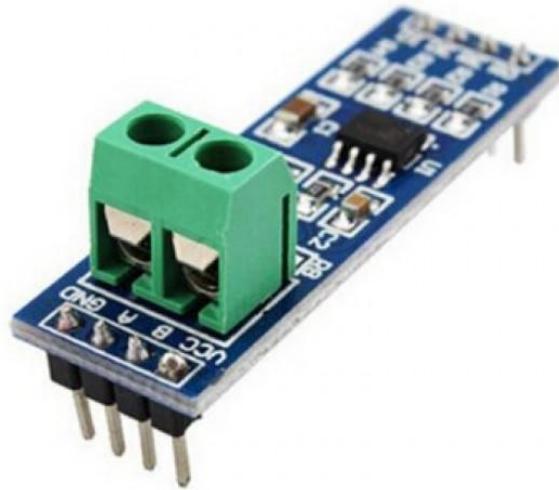


Figura 3. Módulo conversor de RS485 a TTL Recuperado de: <https://electronilab.co/tienda/modulo-conversor-ttl-rs485-max485/>

Tabla 3. Características de módulo conversor RS485-TTL

Nombre	Valor
Voltaje de operación	5V DC.
Corriente de operación	120uA ~ 500uA.
Potencia de operación	830 mW.
Velocidad máxima de transmisión	2.5 Mbps.
Dimensiones	44x14 mm.
Modelo	MAX-485

3.4. Fuente de poder HLK-PM01.

Es una fuente de alimentación fija pequeña, la cual tiene una entrada que puede variar entre 100 a 240VAC y con una salida de 5VDC a 0.6A, especialmente diseñada para proyectos de prototipado y de bajo consumo, con el propósito de reducir espacio y cortocircuitos.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-10-19



Figura 4. Fuente 5V DC Hi-Link Recuperado de: <https://altronics.cl/fuente-poder-miniatura-hlk-pm01>

Tabla 4. Características de Fuente 5VDC Hi-Link

Nombre	Valor
Tensión de entrada nominal	120 - 240 VAC
Rango de voltaje de entrada	90-264 VAC
Máxima corriente de entrada	≤ 0.2 A
Sobrecarga de corriente de entrada	≤ 10 A
Tensión de salida nominal de carga	$+5 \pm 0.1$ VDC
Tensión de salida nominal completa	$+5 \pm 0.2$ VDC
Corriente máxima de salida a corto plazo	≥ 1000 mA
Potencia de salida	3W.
Protección	sobrecarga y cortocircuito.
Alta eficiencia, alta densidad de potencia	
Bajo rizado y bajo nivel de ruido	

3.5. Caja estanca cuadrada.

Es una caja diseñada especialmente para proteger empalmes y conexiones de instalación eléctrica. es un producto que está fabricado con PVC, la cual tiene varias ventajas con respecto a su peso, facilidad de instalación y adecuado para contener cables conductores de electricidad.



Figura 5. Caja Estanca Recuperado de:
<http://autoradorota.com/es/caja-empotrar-/339-caja-estanca-100-x-150.html>

Tabla 5. Características de Caja prensa estopa.

Nombre	Valor
Medidas	50 x 110 x 70 mm
Material	PVC
Color	Blanco

3.6. Prensa-estopa.

Son elementos apropiados para el paso, compresión y sujeción de cables entre dos compartimiento o dispositivo que requieran estanqueidad.



Figura 6. Prensa-estopa para cable Recuperado de: <http://www.cablingdirect.com.au/cable-glands-plastic-and-brass-obo-bettermann/>.

Tabla 6. Características de Prensa-estopa

Nombre	Valor
Rango de cable	6-11 mm / 0.23 " - 0.43";
Hilo O.D	20 mm / 0,78 "
Longitud del hilo	10 mm / 0.39 ";
Tamaño total	25 x 35 mm / 1 "x 1.4" (D * H)
Material	El plástico; Color blanco
Peso	89 gr

3.7. Clavijas machos y hembras.

Permite el suministro de voltaje y corriente para un circuito eléctrico y electrónico determinado. Posee un polo a tierra el cual permite aislar el circuito de cortocircuito o choques eléctricos.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-10-19



Figura 7. Clavija industrial reforzados. Recuperado de:
<http://www.proconstruye.net/gallery-item/clavijas-y-contactos-industriales-reforzados-aterrizados/>

3.8. Protocolo TCP/IP.

Los protocolos TCP e IP, son dos protocolos diferentes y están encargados de organizar el tráfico por dentro de una red, como de describe a continuación [4].

Protocolo IP (internet Protocol): está encargado de etiquetar la información con la dirección ip del dispositivo o computador de origen y a la cual va destinada el paquete de datos. por la anterior razón cada máquina conectada a la internet necesita tener una dirección de internet o IP Address que es la única y exclusiva etiqueta con la cual se distingue de otro dispositivo.

Protocolo TCP (Transfer Control Protocol): se encarga de tomar toda la información o datos que serán transmitidos, con el fin de dividirlos en paquetes o segmentos, los cuales serán numerados para que el receptor verifique la información y ordenarla con es debido. Si algún segmento llegara a perderse o a dañarse el receptor solicitará automáticamente la retransmisión de ese paquete al emisor.

una vez que los paquetes han llegado completos y sin errores al receptor el protocolo IP se activa para reconstruir los paquetes y redireccionarlos a su destinatario, por esta razón

siempre indicamos que vamos a trabajar con un protocolo TCP/IP ya que estos dos siempre están atados para un correcto funcionamiento de la transmisión de datos.

3.9. FLUKE 117 TRUE RMS MULTIMETER.

Es un multímetro de precisión diseñado especialmente para campos industriales, edificios comerciales, hospitales y universidades que trae incorporado dos funciones (AutoV / LoZ), con el fin de evitar lecturas falsas por voltajes fantasmas o ruidos. Proporciona un diseño fácil de usar con el cual le permitirá ahorrar tiempo en el trabajo, ya que está hecho para usuarios de todo tipo.



Figura 8. Multímetro FLUKE 117. Recuperado de: <http://en-us.fluke.com/products/digital-multimeters/fluke-117-digital-multimeter.html#features>

Tabla 7. Características de Multímetro FLUKE 117.

Nombre	Valor
Tensión máxima entre cualquier terminal y tierra.	600V
Protección contra sobretensiones	Pico de 6 kV según IEC 61010-1 600 VCAT III, grado de contaminación 2
Fusible para una entrada	11A, 1000V FAST Fuse (Fluke PN 803293)
Display	Digital: 6,000 cuentas, actualizaciones 4 por segundo

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-10-19

Gráfico de barras	33 segmentos, actualiza 32 por segundo
Temperatura de operación	de -10°C a +50°C
Temperatura de almacenamiento	de 40°C a +60°C
Tipo de Batería	9 volts Alkaline, NEDA 1604A / IEC 6LR61
Voltaje DC	600 mV a 600V
Continuidad	600 ohms
Ohms	600 - 6000 ohms
Corriente AC	6 - 10 A
Corriente DC	6 - 10A
Frecuencia	50 - 99.9999 Hz

3.10. Bk precisión (Pinza amperimétrica).

Una pinza amperimétrica es una herramienta de instrumentación que nos permite medir la corriente que circula por un conductor a partir del campo magnético generado por la circulación corriente



Figura 9. Pinza amperimétrica Fluke 316 Recuperado de:

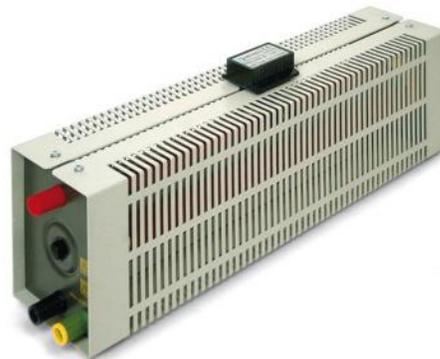
https://www.alliedelec.com/b-k-precision-316/70146126/?gclid=CjwKEAajwjozPBRCqoubWiKPBkCgSJADrFM5grfEKbi30KET8hoQerFySPF8jIbi86KEJXHjosDGRbRoC1jLw_wcB

Tabla 8. Características de Pinza amperimétrica Fluke 316.

Nombre	Valor
Pantalla LCD	4 in
Apertura de pinza	$\leq 0,49''$
Rangos de corriente AC/DC	10A, 80A y 100A
Rango de resolución	1mA (10A rango) y 10mA
Mide corriente en completa escala	5% a 100%
Mide AC/DC Volts	600V
Resistencia	$\leq 10K$ ohms
Protección de sobrecarga	
Indicador de batería baja	
Apagado automático	

3.11. Reóstato

Es un tipo de resistencia variable que tiene como fin conectarse en serie a un circuito con el fin de cambiar la intensidad de corriente que circula por este. Los reóstatos están creados de un alambre enrollado sobre un material aislante, con espiras y un cursor que se puede desplazar por un eje paralelo al núcleo que provoca la variación de la resistencia.



	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-10-19

Figura 10. Resistencia variable con deslizador(Reóstato)
 Recuperado de: https://www.a3bs.com/resistor-variable-33-ohm-u17353,p_877_1272.html

Tabla 9. Características de reóstato.

Nombre	Valor
Tolerancia de resistencia	10% del valor nominal
Potencia permitida	320 W (operación permanente), 640 W (máx. 15 min)
Máx. Tensión permitida	600 V
Dimensiones	446 mm x 93 mm x 150 mm
Rango de Peso	2,85 kg a 3,25 kg
Resistencia en Ohm	47

3.12. Arduino IDE

Es un entorno de desarrollo de código abierto multiplataforma que integra varios lenguajes de programación y editores de código c++ como el GNU c++, además tiene la utilidad de cargar el programa o firmware a dispositivos compatibles con este IDE.

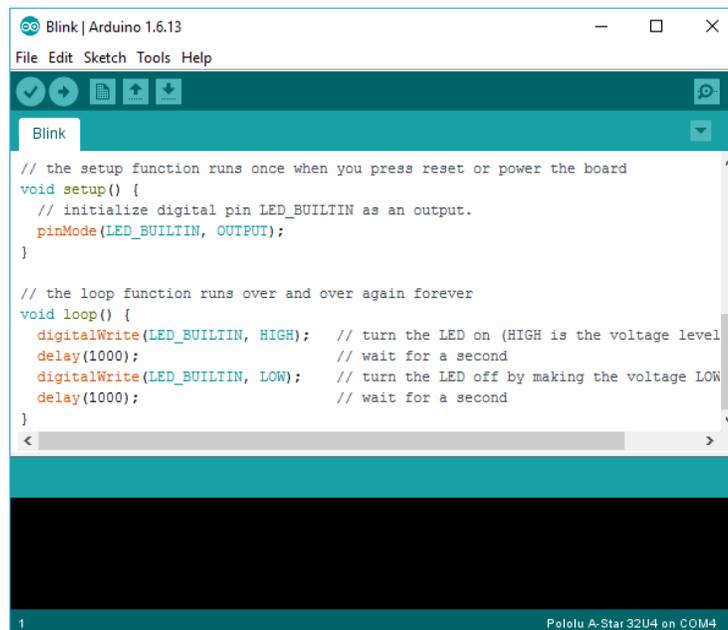


Figura 11. Arduino IDE Recuperado de: <https://www.pololu.com/docs/0J61/6.2>

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-10-19

3.13. Plataforma Ubidots

Es una plataforma basada en una nube o cloud que integra información o datos provenientes de diferentes dispositivos en tiempo de real basados en el IoT y ayuda en el proceso de dar sentido a la información recogida. Ubidots transforma los datos subidos por los sistemas de desarrollo en decisiones educativas, científicas y comerciales. Permite la creación de aplicaciones para el Internet de las Cosas de una manera fácil, rápida y divertida.

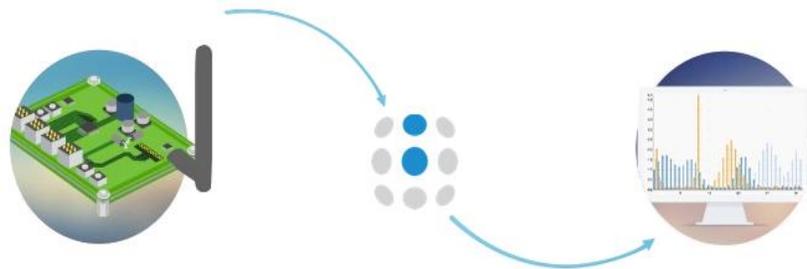


Figura 11. Plataforma Ubidots Recuperada de:
https://ubidots.com/docs/es/get_started/introduccion.html

3.14. Osciloscopio TEKTRONIX MSO4000

Es un osciloscopio de señal mixta que permite analizar hasta 20 señales analógicas y digitales al mismo tiempo y con un solo instrumento, ayudando así a encontrar y diagnosticar problemas y errores técnicos en diseño de dispositivos o tarjetas electrónicas.

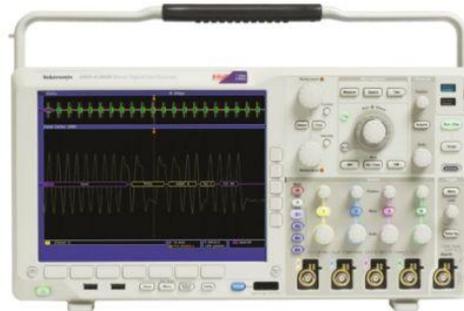


Figura 12. Osciloscopio TEKTRONIX MSO4000 recuperado de: http://www.isotest.es/web/Soporte/tektronix/catalogos/tek_dpo4000.pdf

Tabla 10. Características de Osciloscopio TEKTRONIX MSO4000

Nombre	Valor
Modelos de ancho de banda	1 GHz, 500 MHz, 350 MHz y 100 MHz
Modelos de canales analógicos	2 y 4
Velocidad de muestreo	5 GS / s en todos los canales
Longitud de registro en todos los canales	20 M
Máxima de captura de forma de onda Sondas de voltaje pasivo estándar	Carga capacitiva de 3.9 pF y Ancho de banda analógico de 500 MHz o 1 GHz
Activadores avanzados	Suite
Mediciones automáticas y análisis FFT para simplificación análisis de forma de onda	42

3.15. Potencia Activa

Es la energía absorbida por un sistema ya sea mecánico, eléctrico, térmico, químico, entre otros, esta energía es transformada en trabajo útil generado por las cargas y a lo cual es llamado potencia activa. Esta potencia es denotada por la letra P y su medida está dada en Watts (W).

$$P = V_{rms} * I_{rms} * \cos(\phi)$$

3.16. Potencia Aparente:

También conocida como potencia total la cual es denotada con la letra (S). Esta potencia se mide en Volts-Ampers VA y no es más que el consumo de un dispositivo que está conectado sin ninguna carga o funcionando al vacío.

$$S = V_{rms} * I_{rms}$$

3.17. Factor de potencia

El factor de potencia mide la eficiencia del consumo eléctrico de un dispositivo o sistema conectado a la red eléctrica, al momento de convertir en trabajo útil como en el proceso térmico, mecánicos y químicos. Está denotado como:

$$pf = P/S$$

3.18. Autodesk EAGLE

Es un software multiplataforma creado especialmente para el diseño de placas de circuito impreso (PCB) con herramientas para diseñar esquemático y librerías por y para la comunidad. Este software es líder en proyectos por makers por su fácil aprendizaje y por ofrecer una línea gratuita limitada.

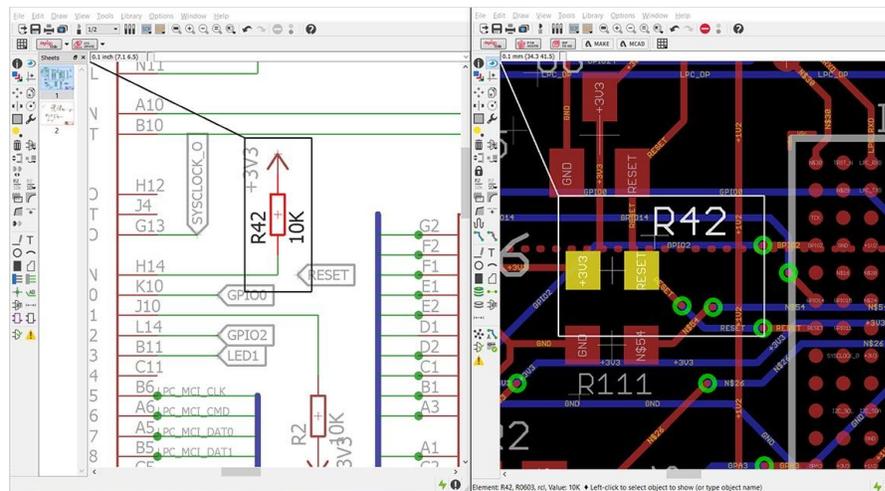


Figura 13. Autodesk EAGLE recuperado de: <https://www.autodesk.com/products/eagle/features>.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-10-19

3.19. Internet of things(loT)

El internet de las cosas en el futuro prevé miles de millones de dispositivos conectado entre sí y a través de las internet capaces de ofrecer todo tipo de servicios a compañías o empresas locales y remotas. Esta nueva tecnología ofrece beneficios y comodidades irresistibles, donde hoy por hoy se están desarrollando sistemas innovadores con el fin de aumentar la eficiencia en procesos industriales, así como en hogares y ciudades con el fin de reducir costos y tener un monitoreo en tiempo real de maquinaria o lugares específicos [5]. El IoT es una tecnología que consiste en integrar dispositivos o cosas para recopilar datos que sean útiles. Estos datos pueden recolectarse de factores o variables físicas, eléctricas o ambientales, con el fin de resolver problemas de la vida cotidiana.

3.20. Cloud and Big-Data

Con el gran crecimiento de cosas conectadas a internet se da un aumento inimaginable de crecimiento de datos, por lo cual la gestión de estos datos comienza a generar cuestionamiento con respecto a la eficiencia y rapidez al momento de recopilar datos, procesarlos y analizarlos [6]. debido a esto nacen estos dos conceptos: uno de ellos es el Cloud o la nube que permite el almacenamiento masivo de datos subidos por los dispositivos IoT y el Big-Data se encarga de manipular de forma inteligente los datos logrando que usuarios, hogares y empresas se muevan de manera más rápida al momento de reducir costos de producción o consumo energético y toma de decisiones para eliminar problemas.

3.21. Monitoreo de consumo energético hogares

Debido a que la demanda energética en estos últimos años se volvió un tema primordial al momento de tener hogares, edificio y ciudades inteligentes se viene realizando sinergias entre tecnologías IoT y sensores convencionales con el fin de tener un monitoreo en tiempo real del consumo energético para contribuir al desarrollo renovable y hogares inteligentes que además de esto sean económicos y rentables al momento de ser vendidos y lo más importante es poder gestionar negocios y solucionar problemas eléctricos[7].

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-10-19

4. METODOLOGÍA

4.1. Descripción general del sistema.

Este sistema es una aplicación de internet de las cosas que proporcionará indicadores de consumo eléctrico con disponibilidad de tiempo real en internet, teniendo en cuenta diferentes variables como: voltaje, corriente, potencia, frecuencia, factor de potencia y consumo eléctrico(kWh). por lo tanto, todos estos datos serán normalizado y muestreados en una plataforma IoT.

Para obtener las variables de voltaje, corriente, frecuencia y ángulo de fase se hará necesario el uso del módulo SDM220, el cual realiza fácilmente la medición de estas variables, este las transmite mediante el protocolo de comunicación bus serial ModBus (rs485).

Como tarjeta de adquisición de datos se usará el módulo NODEMCU el cual cuenta con conectividad WIFI y fácil integración con plataformas IoT dado que entre sus grandes características no cuenta con el protocolo de comunicación ModBus(rs485), se hará necesario el uso de un módulo conversor de RS485 a TTL por su facilidad de uso y tamaño, el cual tiene el chip max485 que mediante este podrá realizar la comunicación entre el módulo de medición SDM220 y la tarjeta de adquisición de datos NODEMCU.

Una vez obtenidos las variables principales se realizarán los cálculos de la potencia activa, potencia aparente, factor de potencia y consumo eléctrico, mediante las ecuaciones que describen cada variable respectivamente.

Con las variables ya medidas y calculadas, se proceda a subirlas a la nube, y para ello se hará la integración con la plataforma de IoT Ubidots, la cual permite crear un TOKEN para transmisión de datos por medio de TCP/IP POST y con IDs subir cada variable independiente mente.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-10-19

Para facilitar la instalación e integración física de los componentes, será necesario el diseño de una tarjeta PCB que permitirá ensamblar todo el componente en una tarjeta compacta y con las especificaciones técnicas.

El producto debe ser protegido del medio ambiente, por tanto, se debe usar una carcasa que cumpla con la reglamentación de instalaciones eléctricas impuestas por la RETIE, se usará una caja tipo estanca donde quedará todo el sistema completo.

4.2. Diseño y esquematización del sistema.

- En este ítem se realizará el proceso del proyecto mediante una esquematización que contiene 5 etapas de desarrollo.
- Etapa 1: Esta contiene las respectivas conexiones de las clavijas y fuente AC/DC a la red eléctrica AC, la cual tiene como función principal alimentar con energía eléctrica el sistema.
- Etapa 2: Comprende la medición de variables como voltaje, corriente, frecuencia y potencia por medio del módulo SDM220, el tiene integrado un protocolo de comunicación específico para enviar o transmitir datos a otros dispositivos.
- Etapa 3: Está compuesta por el cambio o conversión de protocolo de comunicación modbus (rs485 a ttl), ya que el sistema de adquisición de datos expuesta no contiene este.
- Etapa 4: El sistema de adquisición de datos es una tarjeta de desarrollo encargado de recibir y procesar datos del sensor de la segunda etapa, además también se ocupa de establecer la comunicación con la plataforma Ubidots de la siguiente etapa para subir los datos a internet.
- Etapa 5: Esta última etapa se ocupa de adquirir los datos proporcionados por el nodeMCU. También permite la visualización de estos en Dashboard o tableros de contenido de información comprendido por gráficos de barras, líneas, tablas, promedios, entre otros.
- Para visualizar bien la explicación de las etapas véase la Figura 14.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-10-19

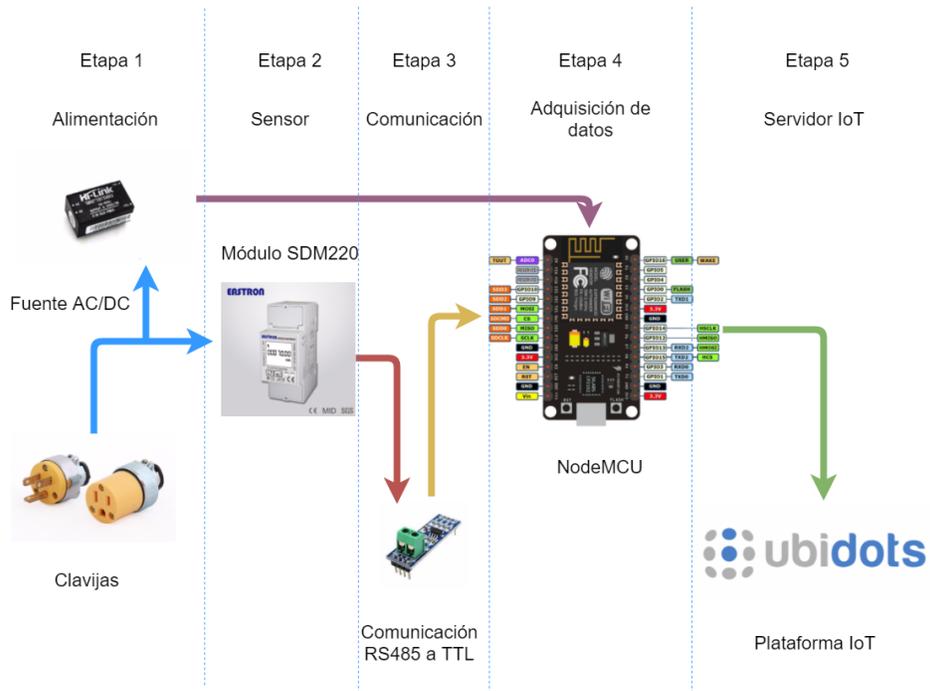


Figura 14. Esquematización de etapas para el sistema

Realizado en: <https://www.draw.io/>.

4.3. Implementación del sistema.

4.3.1. Alimentación

El dispositivo requería de una alimentación 110VAC para el módulo SDM220 y 5VDC para el convertor de RS485 a TTL y el NODEMCU para satisfacer esta necesidad se hizo uso del módulo Hi-Link el cual gracias a su entrada de 100-240 VAC y salida de 5VDC facilita la alimentación del sistema.

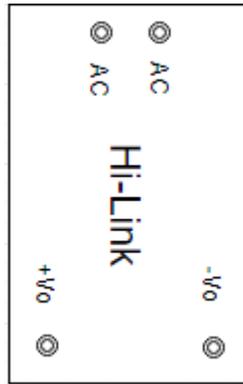


Figura 15. Esquemático fuente Hi-link

Realizado en: <https://www.draw.io/>.

Como se observa en la figura 15. el módulo Hi-link cuenta con 4 terminales en las dos que se encuentran marcadas con la abreviación “AC” se hizo la conexión de la neutra y la fase a 110VAC y las que llevan -Vo y +Vo es la salida de 5VDC GND y VCC respectivamente. véase figura 16 y 17.

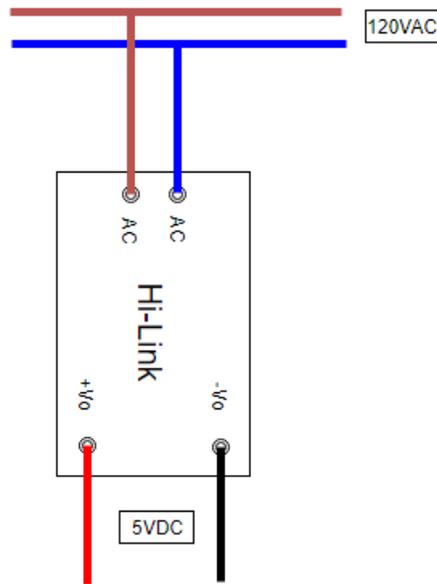


Figura 16. esquema de conexión eléctrica fuente Hi-link

Realizado en: <https://www.draw.io/>.



Figura 17. conexión física implementada.

4.3.2. Sensado

Después de tener las conexiones electrónicas disponibles se procede a realizar la conexión al módulo SDM220. véase figuras 18 y 19.

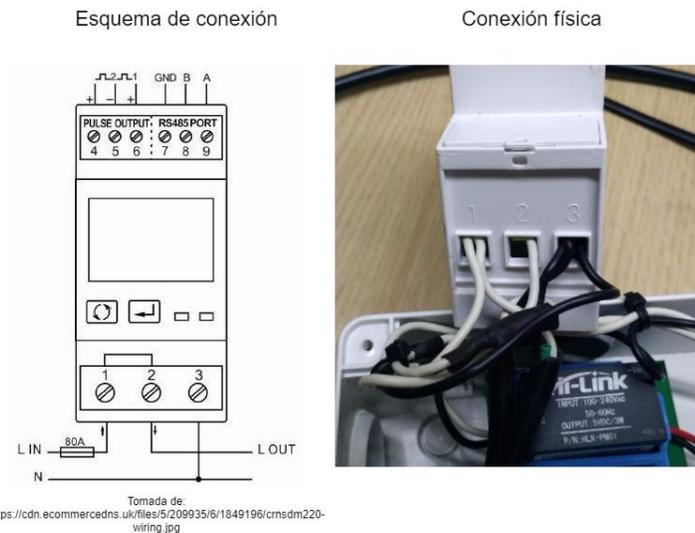


Figura 18. Conexión módulo SDM220 a red eléctrica.



Figura 19. Ensamble y Conexión módulo SDM220 en la caja estanca.

Luego se procede a encender y verificar que el SDM220 lea las variables especificadas anteriormente.

4.3.3. Comunicación

la conexión en el ítem de la comunicación se da con un módulo conversor modbus a serial y para esto se hace necesario implementar el esquemático de la figura 20.

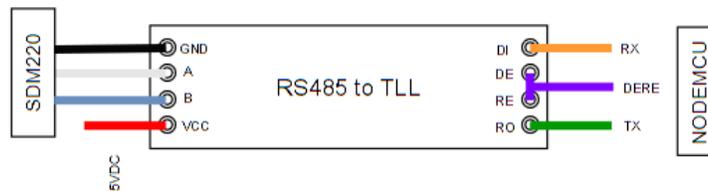


Figura 20. Esquemático de conexión módulo rs485 a ttl con SDM220 y nodeMCU.

En la imagen anterior se especifica las respectivas conexiones con el SDM220 y la tarjeta nodeMCU.

4.3.4. Adquisición de datos

Para la tarjeta de adquisición de datos se dispone a realizar las conexiones de alimentación expuesta en el ítem 3.3.1, la conexión de comunicación del ítem 3.3.3. Ver figura 21.

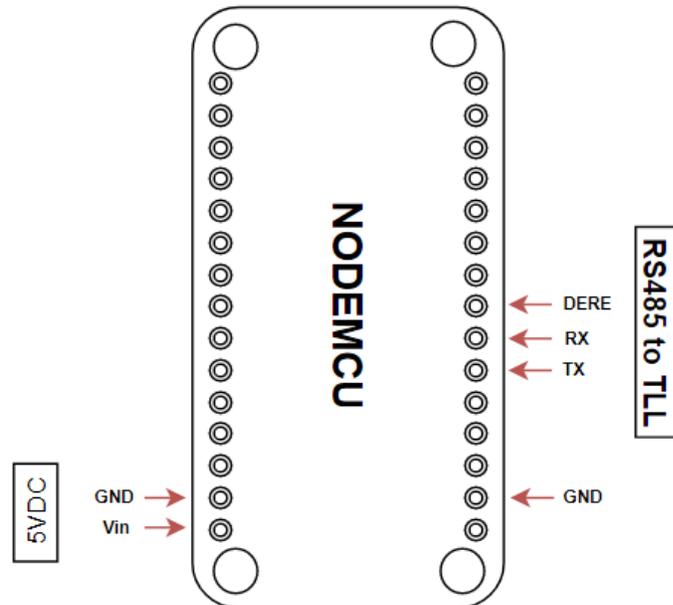


Figura 21. Conexión eléctrica y de comunicación de nodeMCU con SDM220 y fuente de alimentación.

Realizado en: <https://www.draw.io/>.

4.3.5. Servidor IoT:

En la plataforma IoT disponemos de un servicio basado en la nube o Cloud llamado Ubidots, en la cual se dispuso a crear las respectivas variables a guardar y un dashboard con aspecto de tablero el cual permite mostrar los valores de cada variable de manera elegante con diferentes modelos ya previamente definidos y que además permite diseñar nuevos gráficos o notas para visualizar la información. véase figuras 22 y 23.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-10-19

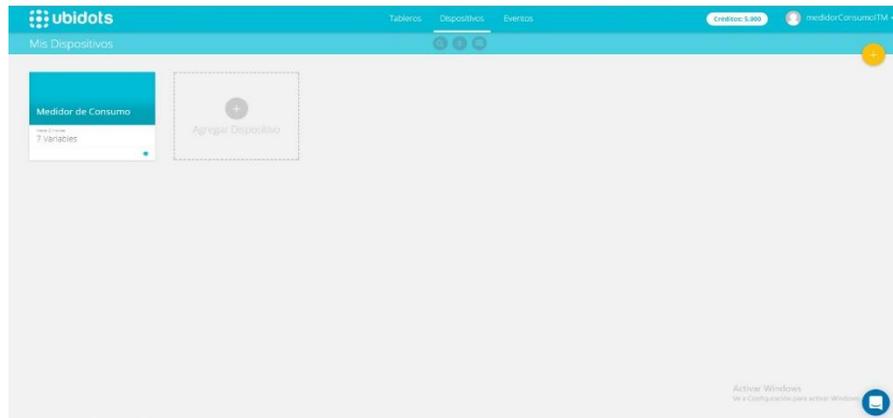


Figura 22. Creación de dispositivo en plataforma Ubidots.

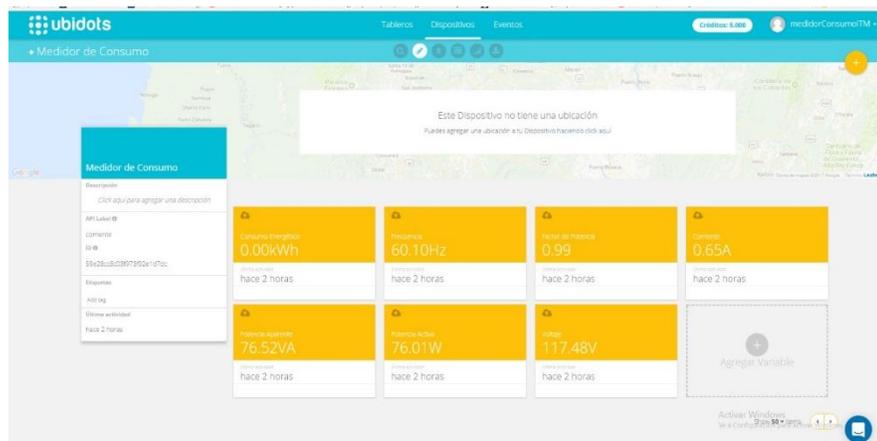
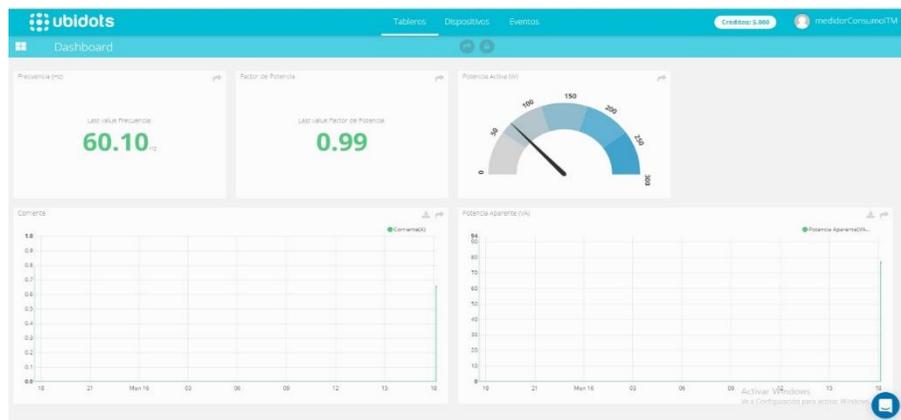


Figura 23. Creación de las 7 variables a mostrar dentro el dispositivo creado.



 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-10-19

Figura 24. Tablero o Dashboard con los resultados de cada variable

Véase el esquema eléctrico general en el Apéndice D.



Figura 25. Ensamble de prueba.



Figura 26. Ensamble con tarjeta electrónica fabricada.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Resultados:

Tras realizar diversas actividades experimentales en los laboratorios de: **Máquinas eléctricas, Mecatrónica, Sistemas de control & robótica y Energía eléctrica & potencia**, del Instituto Tecnológico Metropolitano (ITM) con las cargas de un **Reóstato** de 47 Ohm y 5A, un **Ventilador** de 80W y **Cautín** 30W se obtuvieron los siguientes resultados.

Para cargas cuyo valor era inferior a 0.5 A el SMD220 reportaba medidas erróneas dado que fue diseñado para cargar superiores a estas por tanto se optó por usar 3A.

Tabla 11. Resultados medición instrumentos y SDM220

Variable	TEKTRONIX MSO4000	FLUKE 117 TRUE RMS	Bk precision 316	DM220
Voltaje(V).	126	126.2	127.5	125.8
Corriente(A).	N/A	2.993	2.92	3.001
Frecuencia(Hz).	N/A	N/A	N/A	60.04
Potencia(W).	N/A	378.523	372.3	374
Factor de potencia.	N/A	N/A	N/A	0.999

Tabla 12. % Error entre medida SDM220 y TEKTRONIX.

Variable	TEKTRONIX MSO4000	SDM220	%Error
Voltaje (V)	126	126.7	0,555

Tabla 13. % Error entre medida SDM220 y FLUKE 117.

Variable	FLUKE 117 TRUE RMS	SDM220	%Error
----------	-----------------------	--------	--------

Voltaje (V)	126.2	126.7	0.396
Corriente (A)	2.993	3.001	0.267
Potencia (W)	377.717	375	0.717

Tabla 14. % Error entre medida SDM220 y Bk precisión.

Variable	Bk precision 316	DM220	%Error
Voltaje (V)	127.5	26.7	0.627
Corriente (A)	2.92	3.001	0.027
Potencia (W)	372.3	375	0,725

Tabla 15. % error entre valor calculado y valor arrojado por el SDM220.

	Voltaje(V)	Corriente(A)	Potencia(W)
Calculada	17.4844	0.6514	76,5264
Experimental (SDM220)	17.4844	0.6514	76.0095
		%Error	0,68

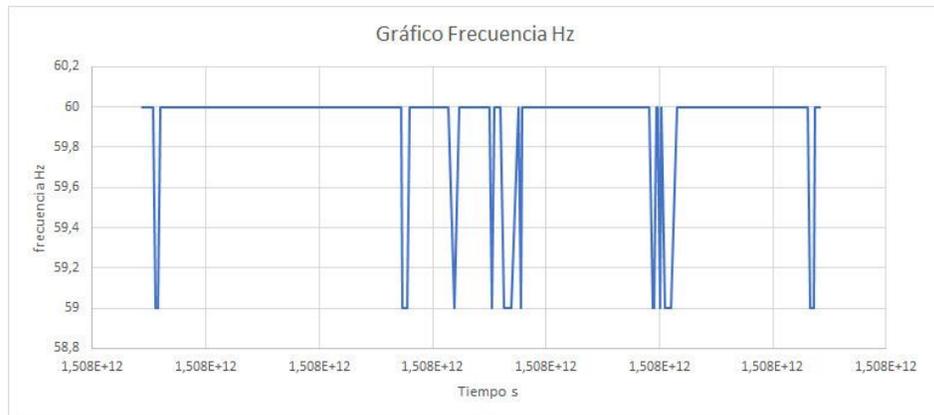
Gráfica 1. Potencia activa.



Gráfica 2. Voltaje AC.



Gráfica 3. Frecuencia.



Gráfica 4. Corriente AC.



Gráfica 5. Factor de potencia.



5.2. Discusiones.

Se implementó un sistema de bajo costo basado en el IoT y tecnologías emergentes, con el cual se realizó medidas expuestas en las anteriores tablas y gráficas.

- Se puede observar en la tabla 11 los diferentes resultados obtenidos con los 3 equipos de instrumentación utilizados en los laboratorios y el módulo SDM220. Estos valores son muy semejantes o similares.
- La tabla 12 refleja el porcentaje de error entre el osciloscopio Tektronix y el módulo SDM220 con un porcentaje inferior a 1, este porcentaje es similar al arrojado por las tablas 13 y 14 donde ese mismo porcentaje del voltaje es menor a 1.
- Al observar las tablas 13 y 14 con respecto al corriente y la potencia tiene un comportamiento similar a la variable de voltaje, ya que el porcentaje de error sigue siendo menor a 1.
- En la tabla 15 donde se presentan la comparación entre el valor calculado de la potencia y el valor medido por el sensor, por tanto, este sigue siendo menor a 1.
- En la gráfica 1 se observa como la carga alcanza una potencia máxima de 33W y una mínima 31W, para una potencia media de 32W, los picos de bajada y subida son generados por la naturaleza resistiva de la carga misma aún así los picos son inferiores al 0.04% por ende pueden ser considerada como válida la medición
- En la gráfica 2 es realizada una desconexión del voltaje AC para observar si la medición llegaba a cero y poder verificar que no se

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-10-19

existieran offset en el estado inicial si voltaje, luego se enciende activa el voltaje y se observa como sube progresiva mente hasta alzar su voltaje, esto sucede por la forma dado que el SMD220 usa un filtro por software entre el un promedio de lectura por tanto su asenso es progresivo.

- En la gráfica 3 la frecuencia estuvo oscilado entre 59 y 60 Hz datos error inferior al 0.02%, esto indica de forma clara que la medida tomada por SMD220 es la adecuada para lo que se requería.
- En el gráfico 4 se ve como la corriente va disminuyendo, aumentado y manteniéndose en un valor promedio debido a la variación de la carga. También se puede apreciar un sobre pico en un tiempo aproximado de 8, esto se debe a que en ese momento o instante se enciende el dispositivo y posee un retardo antes de estabilizarse en el valor de consumo real.
- Se observa en el gráfico 5 que el factor de potencia va aumentando de valor debido a que la carga en el sistema está disminuyendo. Se puede apreciar que a partir del lunes 16, que este factor vario aproximadamente entre 0.98 y 1, debido a que se hicieron diferentes pruebas con varios tipos de cargas similares y al momento de comenzar a estabilizarse en 1 a partir del tiempo 12, se debe a que el dispositivo alimentado atravesó de este sistema, mantiene su consumo energético en un mismo valor (es una carga no variable)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-10-19

6. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

6.1. Conclusiones

- El sistema diseñado posee una confiabilidad del 99,47%, como se puede observar y corroborar en las tablas 11, 12, 13 y 14 al momento de medir las variables, ya que se utiliza cargas resistivas como reóstatos, ventiladores, cautines, entre otros, y los valores siguen siendo similares a los medidos por dispositivos de instrumentación avanzada.
- Se establece comunicación entre el sensor y el sistema de adquisición de datos nodeMCU, donde se comparte información bidireccional con el fin de obtener los datos de las variables requeridas, para ello se utiliza un módulo basado en MAX-485, que permite la conversión de protocolo modbus a ttl.
- El cálculo de algunas de las variables se da con respecto a las medidas tomadas por el sensor SDM220 y procesados el sistema nodeMCU, con el fin de reafirmar la precisión de los datos obtenidos como se observa en las tablas 11, 12 ,13 y 14, los cuales fueron satisfactorios.
- La creación e intercambio de información con una plataforma basada en la nube o cloud, crea alternativas de monitoreo en tiempo real desde cualquier parte del mundo, permitiendo que los dispositivos se conecten entre ellos e internet, pudiendo así resolver problemas y tomar decisiones a corto y largo plazo de un proceso tanto en hogares como en industrias.
- La tarjeta electrónica permite la simplificación y reducción de tamaño significativo del sistema, permitiendo integrar los componentes de forma compacta y organizada, la cual cuenta con especificaciones requeridas de ancho de pistas que no pueden ser validadas con una placa de prueba(Protoboard).

6.2. Recomendaciones

- Módulos como SDM220 de bajo costo que están siendo creados suelen ser equipos pequeños con grandes características y

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-10-19

confiabilidad al momento de implementarse en pequeños proyectos o proyectos industriales, también suelen traer implementados protocolos de comunicación fáciles de usar con el fin de compartir información con otros dispositivos, por lo cual hace que sean idóneos para la adaptación a sistemas IoT.

- Ubidots es una plataforma de IoT que permite realizar de manera gratuita el monitoreo de variables en tiempo real su facilidad de uso es impresionante y posee librerías para diferentes dispositivos de internet de las cosas como el usado en este trabajo, cabe mencionar que existen otras plataformas que ofrecen prestaciones similares que merecen ser probadas tales como: ThingSpeak, Thinger.io, Xively, Jasper, Carriots, WSO2 IOT, entre otros.

6.3. Trabajos futuros

Dados resultados obtenidos, a futuro se pretende monitorear el consumo eléctrico de las instalaciones de Parque i(ITM), para su posterior análisis con redes neuronales de aprendizaje profundo que permita determinar acciones de reducción de consumo energético y sus resultados en tiempo real.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-10-19

REFERENCIAS

[1] Luigi Atzori, Antonio Lera, Giacomo Morabito. *The Internet of Things: A survey* (ScienceDirect, Computer Networks) Diciembre (2009).

[2] D. Bhattacharjee, G. Sharma and R. Bera. *Universal Intelligent Sensor Interface* (International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems, ISSN 1178-5608) Diciembre (2015).

[3] Luigi Atzori, Antonio Lera, Giacomo Morabito. *Smart grid and smart building inter-operation using agent-based particle swarm optimization* (Sustainable Energy, Grids and Networks) Marzo (2015).

[4]A. R. Ávila, «Iniciación a la Red de Internet,» Vigo, Ideaspropias, 2007, p. 104.

[5]“Industrial Internet of Things monitoring solution for advanced predictive maintenance applications,” J. Ind. Inf. Integr., vol. 7, pp. 4–12, Sep. 2017.

[6]“The role of big data analytics in Internet of Things,” Comput. Networks, Jun. 2017.

[7]“Intelligent homes’ technologies to optimize the energy performance for the net zero energy home,” Energy Build., vol. 153, pp. 262–274, Oct. 2017.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-10-19

APÉNDICE

- **Apéndice A: Librería.**

/* Template library for reading SDM 120/220/630 Modbus Energy meter.

* Reading via Software Serial library & rs232<->rs485 converter

* 2016 Reaper7 (tested on wemos d1 mini->ESP8266 with Arduino 1.6.9 & 2.3.0 esp8266 core)

* crc calculation by Jaime García (<https://github.com/peninquen/Modbus-Energy-Monitor-Arduino/>)

*/

```
#ifndef SDM_h
```

```
#define SDM_h
```

```
//-----
```

```
#include <Arduino.h>
```

```
#include <SoftwareSerial.h>
```

```
//-----
```

```
#define SDM_BAUD          9600          //baudrate
```

```
#define MAX_MILLIS_TO_WAIT    1000      //max time to  
wait for responce from SDM
```

```
#define SDM_READ_EVERY    1000         //read SDM  
every ms
```

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-10-19

```
#define SDMSER_RX          12          //RX-D6(wemos)-12
```

```
#define SDMSER_TX          13          //TX-D7(wemos)-13
```

```
#define DERE_PIN           14          //digital pin for control
MAX485 DE/RE lines (connect DE & /RE together to this pin)
```

```
#define FRAMESIZE          9          //size of out/in array
```

```
//-----
```

```
#define SDM_B_01           0x01       //BYTE 1
```

```
#define SDM_B_02           0x04       //BYTE 2
```

```
//BYTES 3 & 4 (BELOW)
```

```
//SDM 120 registers
```

```
#define SDM120C_VOLTAGE    0x0000     //V
```

```
#define SDM120C_CURRENT    0x0006     //A
```

```
#define SDM120C_POWER      0x000C     //W
```

```
#define SDM120C_ACTIVE_APPARENT_POWER  0x0012     //VA
```

```
#define SDM120C_REACTIVE_APPARENT_POWER 0x0018     //VAR
```

```
#define SDM120C_POWER_FACTOR 0x001E     //
```

```
#define SDM120C_FREQUENCY  0x0046     //Hz
```

```
#define SDM120C_IMPORT_ACTIVE_ENERGY    0x0048     //Wh
```

```
#define SDM120C_EXPORT_ACTIVE_ENERGY    0x004A     //Wh
```

```
#define SDM120C_TOTAL_ACTIVE_ENERGY     0x0156     //Wh
```

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-10-19

//SDM 220 registers

```
#define SDM220T_VOLTAGE          0x0000          //V
#define SDM220T_CURRENT          0x0006          //A
#define SDM220T_ACTIVE_POWER     0x000C          //W
#define SDM220T_APPARENT_POWER   0x0012          //VA
#define SDM220T_REACTIVE_POWER   0x0018          //VAR
#define SDM220T_POWER_FACTOR     0x001E          //
#define SDM220T_PHASE_ANGLE      0x0024          //DEGREE
#define SDM220T_FREQUENCY        0x0046          //Hz
#define SDM220T_IMPORT_ACTIVE_ENERGY 0x0048          //Wh
#define SDM220T_EXPORT_ACTIVE_ENERGY 0x004A          //Wh
#define SDM220T_IMPORT_REACTIVE_ENERGY 0x004C          //VARh
#define SDM220T_EXPORT_REACTIVE_ENERGY 0x004E          //VARh
#define SDM220T_TOTAL_ACTIVE_ENERGY 0x0156          //Wh
#define SDM220T_TOTAL_REACTIVE_ENERGY 0x0158          //VARh
```

//SDM 630 registers

```
#define SDM630_VOLTAGE1          0x0000          //V
#define SDM630_VOLTAGE2          0x0002          //V
#define SDM630_VOLTAGE3          0x0004          //V
#define SDM630_CURRENT1          0x0006          //A
#define SDM630_CURRENT2          0x0008          //A
#define SDM630_CURRENT3          0x000A          //A
#define SDM630_CURRENTSUM        0x0030          //A
```

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-10-19

```

#define SDM630_POWER1          0x000C          //W
#define SDM630_POWER2          0x000E          //W
#define SDM630_POWER3          0x0010          //W
#define SDM630_POWER_TOTAL     0x0034          //W
#define SDM630_VOLT_AMPS1      0x0012          //VA
#define SDM630_VOLT_AMPS2      0x0014          //VA
#define SDM630_VOLT_AMPS3      0x0016          //VA
#define SDM630_VOLT_AMPS_TOTAL 0x0038          //VA
#define SDM630_VOLT_AMPS_REACTIVE1 0x0018          //VAr
#define SDM630_VOLT_AMPS_REACTIVE2 0x001A          //VAr
#define SDM630_VOLT_AMPS_REACTIVE3 0x001C          //VAr
#define SDM630_VOLT_AMPS_REACTIVE_TOTAL 0x003C          //VAr
#define SDM630_POWER_FACTOR1   0x001E          //
#define SDM630_POWER_FACTOR2   0x0020          //
#define SDM630_POWER_FACTOR3   0x0022          //
#define SDM630_POWER_FACTOR_TOTAL 0x003E          //
#define SDM630_PHASE_ANGLE1    0x0024          //Degrees
#define SDM630_PHASE_ANGLE2    0x0026          //Degrees
#define SDM630_PHASE_ANGLE3    0x0028          //Degrees
#define SDM630_PHASE_ANGLE_TOTAL 0x0042          //Degrees
#define SDM630_VOLTAGE_AVERAGE 0x002A          //V
#define SDM630_CURRENT_AVERAGE 0x002E          //A
#define SDM630_FREQUENCY        0x0046          //HZ
#define SDM630_IMPORT_ACTIVE_ENERGY 0x0048          //Wh

```

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-10-19

```
#define SDM630_EXPORT_ACTIVE_ENERGY      0x004A          //Wh
#define SDM630_IMPORT_REACTIVE_ENERGY    0x004C          //VARh
#define  SDM630_EXPORT_REACTIVE_ENERGY    0x004E
//VARh
#define  SDM630_TOTAL_SYSTEM_POWER_DEMAND 0x0054
//W
#define  SDM630_MAXIMUM_TOTAL_SYSTEM_POWER 0x0056
//W
```

```
#define SDM_B_05          0x00          //BYTE 5
#define SDM_B_06          0x02          //BYTE 6
```

```
//-----
```

```
template <long _speed = SDM_BAUD, int _rx_pin = SDMSER_RX, int _tx_pin =
SDMSER_TX>
```

```
struct SDM {
```

```
SoftwareSerial sdmSer = SoftwareSerial(_rx_pin, _tx_pin, false, 32);
```

```
private:
```

```
uint16_t calculateCRC(uint8_t *array, uint8_t num) {
```

```
uint16_t temp, flag;
```

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-10-19

```

temp = 0xFFFF;

for (uint8_t i = 0; i < num; i++) {
    temp = temp ^ array[i];
    for (uint8_t j = 8; j; j--) {
        flag = temp & 0x0001;
        temp >>= 1;
        if (flag)
            temp ^= 0xA001;
    }
}

return temp;
};

```

public:

```

void begin() {
    sdmSer.begin(_speed);
    pinMode(DERE_PIN, OUTPUT);
};

```

```

float readVal(uint16_t reg) {
    uint16_t temp;
    unsigned long resptime;

```

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-10-19

```
uint8_t sdmarr[FRAMESIZE] = {SDM_B_01, SDM_B_02, 0, 0, SDM_B_05,
SDM_B_06, 0, 0, 0};
```

```
float res = 0.0;
```

```
sdmarr[2] = highByte(reg);
```

```
sdmarr[3] = lowByte(reg);
```

```
temp = calculateCRC(sdmarr, FRAMESIZE - 3); //calculate
out crc only from first 6 bytes
```

```
sdmarr[6] = lowByte(temp);
```

```
sdmarr[7] = highByte(temp);
```

```
digitalWrite(DERE_PIN, HIGH);
```

```
delay(2);
```

```
sdmSer.write(sdmarr, FRAMESIZE - 1); //send 8 bytes
```

```
sdmSer.flush(); //clear out tx buffer
```

```
digitalWrite(DERE_PIN, LOW);
```

```
resptime = millis();
```

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-10-19

```

while ( (sdmSer.available() < FRAMESIZE) && ((millis() - resptime) <
MAX_MILLIS_TO_WAIT) ) {
    delay(1);
}

if(sdmSer.available() == FRAMESIZE) {
    for(int n=0; n<FRAMESIZE; n++) {
        sdmarr[n] = sdmSer.read();
    }

    if (sdmarr[0] == SDM_B_01 && sdmarr[1] == SDM_B_02 && sdmarr[2] ==
SDM_B_02) {
        if ((calculateCRC(sdmarr, FRAMESIZE - 2)) == ((sdmarr[8] << 8) | sdmarr[7]))
{ //calculate crc from first 7 bytes and compare with received crc (bytes 7 & 8)
            ((uint8_t*)&res)[3]= sdmarr[3];
            ((uint8_t*)&res)[2]= sdmarr[4];
            ((uint8_t*)&res)[1]= sdmarr[5];
            ((uint8_t*)&res)[0]= sdmarr[6];
        }
    }
}

sdmSer.flush();

return (res);

```

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-10-19

};

};

#endif

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-10-19

- **Apéndice B: Código fuente.**

```

////////////////////////////////////
////////*****      MEDIDOR DE CONSUMO ELÉCTRICO IoT      *****////////
////////////////////////////////////
//              CREADORES:              //
////////////////////////////////////
//              Jhonata Galeno.          //
//              Wolsey Rubio.            //
////////////////////////////////////
////////////////////////////////////*****versión 1.1*****////////////////////////////////////
////////////////////////////////////

/*

NOTA:

- sdm.readVal(): Esta función perminte mediante un registro leer las diferente
valirable que entrega el Módulo SDM220.

*/

// Se inculuyen las librerías a usar.

#include "SDM_mod.h" // Se incluye la librería de Modululo maste de medición
SDM220.

#include "UbidotsMicroESP8266.h" // Librería de Ubidots para el NODEMCU.

// Se definen macros utiles para la información que será trasmitida a internet

```

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-10-19

```
#define TOKEN "A1E-3jJ8tEHxHeYYoqL352YdawrC0jek54" // Aquí se escribe el
Ubidots TOKEN.
```

```
// IDs de cada variable a enviar a internet(Ubidots IDs).
```

```
#define ID_1 "59e28d1cc03f973f3813ab5a" // ID Voltaje.
```

```
#define ID_2 "59e2a3aac03f9753c87c00a8" // ID Corriente.
```

```
#define ID_3 "59e29907c03f974a16d6e51e" // ID Potencia activa.
```

```
#define ID_4 "59e299afc03f974a16d6e524" // ID Potencia aparente.
```

```
#define ID_5 "59e2a7e8c03f975796b974ab" // ID Frecuencia.
```

```
#define ID_6 "59e2a6aac03f9755009bfa77" // ID Factor de potencia.
```

```
#define ID_7 "59e3df05c03f97028a94c480" // ID Consumo energético.
```

```
#define WIFISSID "71910640" // Nombre de indentificación de red WIFI.
```

```
#define PASSWORD "094F311332219" // Contraseña de la red WIFI.
```

```
#define G_R PI/180 // Factor de conversión de Grados a Radianes.
```

```
Ubidots client(TOKEN); // Se inicializa el cliente del TOKEN de Ubidots.
```

```
// De claración de variable.
```

```
double kWattsHoras = 0;
```

```
float angulo = 0;
```

```
float voltaje = 0;
```

```
float corriente = 0;
```

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-10-19

float frecuencia = 0;

float potenciaActiva = 0;

float PotenciaAparente = 0;

float factordePotencia = 0;

char bufout[10]; // Donde de almacenará el buffer de salida.

// Configuración de comunicación 485-rs232 por Defecto:

SDM<> sdm; //SDM220 baud 9600, rx pin 12, tx pin 13

// Función de configuración de parametros.

void setup(){

Serial.begin(115200); // Serial NODEMCU

sdm.begin(); // Serial SDM220

delay(10); // Pequeño retardo para envitar error de comunicación.

client.wifiConnection(WIFISSID, PASSWORD); // Se realiza la conexión a la red WIFI.

}

//----***Funciones utiles globales.

void obtenerDatos();

void datosCalculados();

void enviarDatosInternet();

void potenciaConsumida(); //kWh

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-10-19

// Ciclo infinito.

void loop(){

//----***DATOS OBTENIDOS DEL MÓDULO.

 obtenerDatos();

//----***DATOS CALCULADOS.

 datosCalculados();

//----***ENVIO DE DATOS A INTERNET.

 enviarDatosInternet();

} // Fin.

void obtenerDatos(){ // DATOS OBTENIDOS DEL MÓDULO.

 angulo = sdm.readVal(SDM220T_PHASE_ANGLE); // Se obtiene el ángulo de fase medido por el modulo SDM220.

 voltaje = sdm.readVal(SDM220T_VOLTAGE); // Se obtiene el voltaje medido por el modulo SDM220.

 corriente = sdm.readVal(SDM220T_CURRENT); // Se obtiene la corriente medida por el modulo SDM220.

 frecuencia = sdm.readVal(SDM220T_FREQUENCY); // Se obtiene la frecuencia medida por el modulo SDM220.

 kWattsHoras = sdm.readVal(SDM220T_IMPORT_ACTIVE_ENERGY); // Se obtiene la potencia activa consumida medida por el modulo SDM220.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-10-19

}

```
void datosCalculados(){ // DATOS CALCULADOS
```

```
    potenciaActiva = voltaje*corriente*cos(angulo*G_R); // Se calcula la potencia activa.
```

```
    PotenciaAparente = voltaje*corriente; // Se calcula la potencia aparente.
```

```
    factordePotencia = potenciaActiva/PotenciaAparente; // Se calcula la potencia aparente.
```

}

```
void enviarDatosInternet(){ // ENVIO DE DATOS A INTERNET.
```

// Nota: Envio de las variables con sus respectivos IDs a Ubidots. (Sólo se puede enviar de a 5 paquete de datos).

```
    client.add(ID_1, voltaje);
```

```
    client.add(ID_2, corriente);
```

```
    client.add(ID_3, potenciaActiva);
```

```
    client.add(ID_4, PotenciaAparente);
```

```
    client.add(ID_5, frecuencia);
```

```
    client.sendAll(); // Se envian los 5 primeros datos.
```

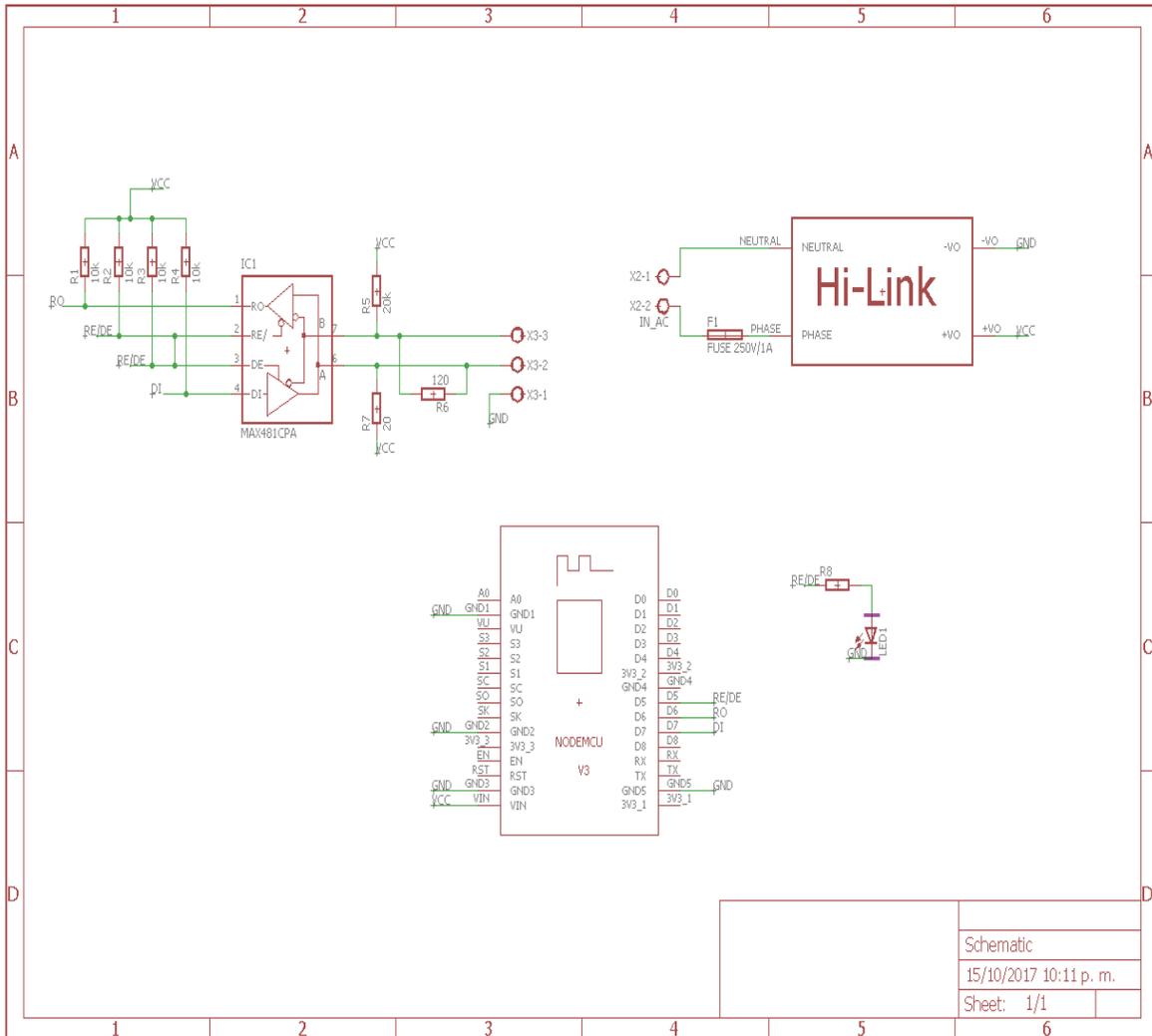
```
    client.add(ID_6, factordePotencia);
```

```
    client.add(ID_7, kWattsHoras);
```

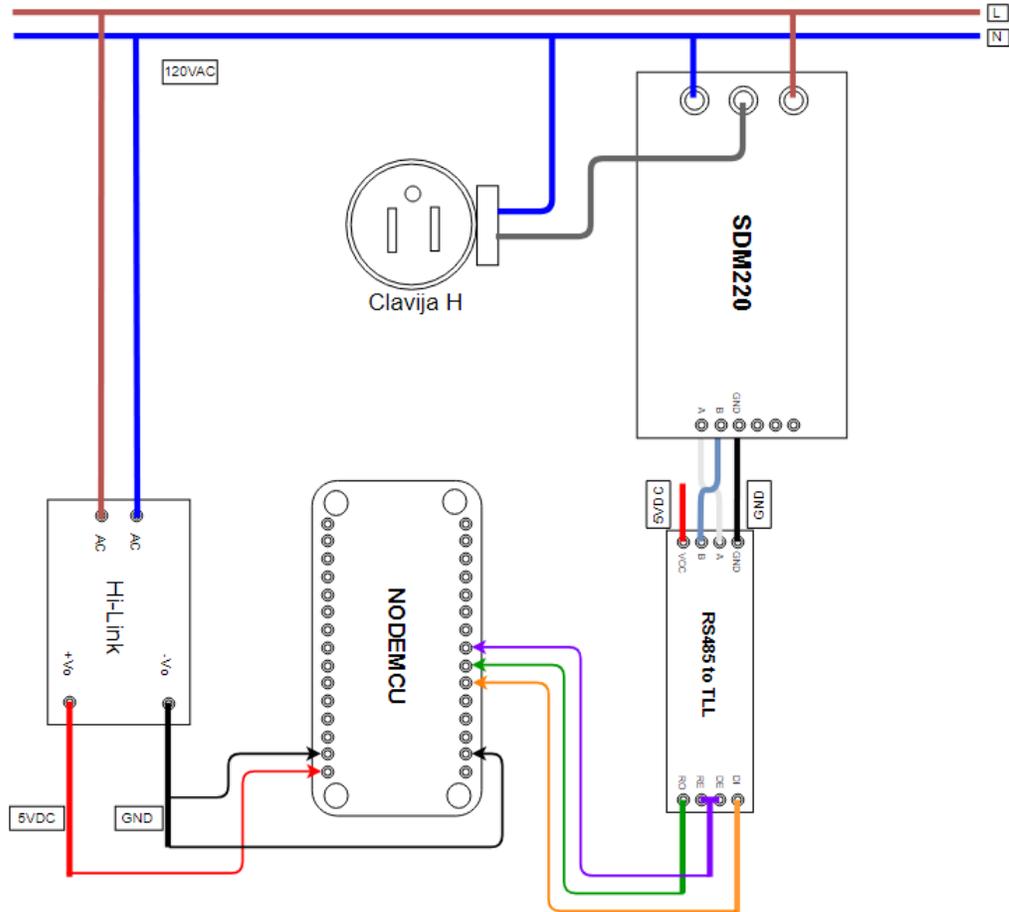
```
    client.sendAll(); // Se envian los datos restantes.
```

}

• **Apéndice C: Esquemático PCB.**



- **Apéndice D: Diagrama de conexión del sistema.**



FIRMA ESTUDIANTES Jhonatan G.T.
Walsey Osmin Luján G.C.

FIRMA ASESOR JUAN SE. IF

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO___ ACEPTADO___ ACEPTADO CON MODIFICACIONES___

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____