



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y REDES DE
COMUNICACIÓN**

ARTÍCULO CIENTÍFICO

TEMA:

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO PARA LA ADQUISICIÓN DE DATOS
DEL SISTEMA ELÉCTRICO PARA REPORTES DE FALLAS MEDIANTE
MENSAJERÍA SMS EN EL DATA CENTER DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA
EN CIENCIAS APLICADAS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.**

AUTOR: JOHN JAIRO PEÑAFIEL ESPINOZA

DIRECTOR: MSC. CARLOS HERNÁN PUPIALES

Ibarra-Ecuador

2018

Diseño de un sistema de monitoreo para la adquisición de datos del sistema eléctrico mediante mensajería SMS en el data center de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas de la Universidad Técnica del Norte

Autores: John Jairo PEÑAFIEL ESPINOZA, Ing. Carlos Hernán PUPIALES YÉPEZ, Ing. Jaime Roberto MICHILENA CALDERÓN, Ing. Fabián Geovanny CUZME RODRÍGUEZ.

Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Universidad Técnica del Norte, Avenida 17 de Julio 5-21 y José María Córdova, Ibarra, Imbabura

jjpenafiele@utn.edu.ec, chpupiales@utn.edu.ec, jrmichilena@utn.edu.ec, fgcuzme@utn.edu.ec

Resumen. *El presente proyecto tiene como finalidad diseñar e implementar un sistema de monitoreo para sondear en tiempo real variables eléctricas tales como el voltaje, corriente y potencia para generar notificaciones de fallas eléctricas en el tablero de distribución eléctrico del data center de la FICA de la Universidad Técnica del Norte. El sistema está diseñado acorde a las normas IEC 61557-12 y la norma DIN EN 61000-4-2,5,11 respectivamente que establece comportamientos, compatibilidad y uso de dispositivos eléctricos en sistemas de distribución de baja tensión. Para construir este proyecto se utilizó un módulo digital para la lectura de variables eléctrica de baja tensión, un módulo de comunicaciones GSM, un microcontrolador Arduino Mega y un socket Ethernet para generar una comunicación con el mundo eléctrico del tablero de distribución. Este sistema puede ser implementado a baja o gran escala para monitorear variables y estados eléctricos en diferentes locaciones ya que es escalable a bajo precio y baja complejidad.*

Palabras Claves

Modbus, RTU, Medidor digital PAC 3100, tablero general de distribución, UPS, sistema eléctrico, comunicación RS-485.

Abstract. *The purpose of this project is to design and implement a monitoring system to probe in real time electrical variables such as voltage, current and power to generate notifications of electrical faults for the electrical distribution board in the FICA data center of the University Northern Technique The system is designed according to IEC 61557-12 standards and DIN EN 61000-4-2,5,11 respectively, which establishes behavior, compatibility and use of electrical devices in low voltage distribution systems. To build this project we used a digital module for the reading of low voltage electrical variables, a GSM communication module, an Arduino Mega microcontroller and an Ethernet socket to generate a communication with the electrical world of the distribution board. This system can be implemented at low or large scale to monitor variables and electrical states in different locations since it is scalable at low price and low complexity.*

Keywords

Modbus, RTU, PAC 3100 Digital Measurer, General Distribution Board, UPS, Electric System, RS-485 communication.

I. INTRODUCCIÓN

En el campo de la comunicación específicamente en ambientes industriales, actualmente se ha generado un interés por el control, supervisión, confiabilidad y disponibilidad de sistemas de monitoreo en redes energéticas de edificaciones de pequeña y gran escala.

Existe una variedad de empresas que generan un sinnúmero de aplicaciones con alto nivel de desarrollo sobre este tema, casi la mayoría posee un gran valor económico lo cual es un poco costoso acceder al producto y generalmente están premeditadas solo para crear una experiencia de lujo en el cliente que en proveer el desarrollo de alguna actividad necesaria en específico. En el sector industrial o empresarial es de vital importancia el monitoreo de energía eléctrica para el funcionamiento de equipos, dispositivos o máquinas. El deficiente funcionamiento puede generar fallas lo cual provocaría averías a máquinas o equipos afectando así directamente a la economía.

El sistema de monitoreo para notificaciones de fallas eléctricas cumple con la función alertar al administrador del data center que se está produciendo una anomalía como sobretensión, caída de voltaje o corte energético en sitio, en caso de llegar a cualquiera de estas situaciones se generaran alertas notificando así del problema mediante mensajes de texto SMS de manera instantánea y así actuar brevemente para evitar problemas en los equipos informáticos. Este sistema es de gran ayuda para prevenir daños físicos y lógicos en los diferentes equipos del data center.

II. DEFINICIÓN Y CONCEPTOS BÁSICOS

Las siguientes definiciones y conceptos son necesarios comprenderlos para poseer bases teóricas en el desarrollo del proyecto.

A. Redes Industriales

Las redes industriales se las puede determinar cómo una serie de equipos o estaciones interconectados entre sí con la función de obtener información disponible de E/S de uno o varios dispositivos en la red [1]. Por tanto, estas redes están conformadas por equipos de control y/o medición tales como:

- Controladores
- Actuadores
- PC's industriales
- Módulos inteligentes

Para dar facilidad en el proceso de comunicación, a las redes industriales simplemente se las puede dividir en tres (3) niveles como se muestra en la figura 1:

- Nivel superior o gestión: Es quien proporciona información sobre la red o el que provee las órdenes de producción a los niveles inferiores.
- Nivel intermedio o procesos: Está conformado por los equipos que son capaces de gestionar a los sensores presentes en el nivel inferior, estos son dispositivos o componentes basados en microprocesadores, controladores inteligentes o autómatas programables.
- Nivel inferior o sensores: En este nivel se encuentran todos los componentes relacionados a la medición tales como actuadores, sensores y controladores, logrando ser el principal soporte de este tipo de redes [2].

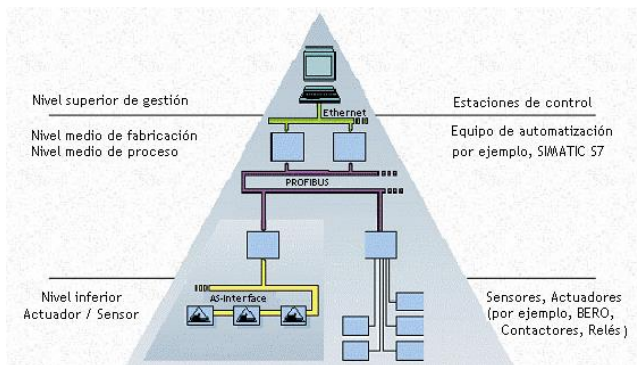


Figura 1. Clasificación de las Redes Industriales

B. Comunicación Industrial

La principal característica que debe presentar las comunicaciones de las redes industriales es la respuesta en tiempo real, además de resistir ambientes hostiles tales como ruido electromagnético y condiciones ambientales duras [2]. Según el ambiente industrial en donde vaya a ser empleado existen varios tipos de redes:

- Red de Factoría: Usualmente usadas en redes de oficina, administración, ventas, contabilidad, administración, etc. La cantidad de información que se intercambia es muy alto, además de presenta tiempos de respuesta que no vienen a ser críticos en este tipo de redes [3].
- Red de Planta: En esta clase interviene la interconexión de módulos y nodos de fabricación entre sí con los departamentos de planificación o diseño.
- Bus de campo: Básicamente es "un sistema de dispositivos de campo (sensores y actuadores) y dispositivos de control, que comparten un bus digital serie bidireccional para transmitir informaciones entre ellos, sustituyendo a la convencional transmisión analógica punto a punto" [2].

C. Tipos de protocolos de comunicación industrial

Existen varios protocolos industriales que son generados por diversas marcas para el uso específico en la comunicación de procesos de sus equipos, control y comunicación de datos de las industrias.

En la tabla 1 se hace énfasis a las características técnicas más relevantes de los protocolos de comunicación que se utilizan en las comunicaciones industriales [2].

TABLA 1.
TIPOS DE PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN

Protocolo	Topología	Medio Físico	Nodos por Seg.	Acceso al medio
Profibus	Bus lineal, anillo, estrella.	Par trenzado apantallado	125	Paso de testigo Maestro/esclavo
Modbus	Bus lineal	Par trenzado	248	Maestro/esclavo
Bitbus	Bus lineal	Par trenzado Fibra óptica	29	Maestro/esclavo
CAN	Bus lineal	Par trenzado	127	CSMA
ARCNET	Bus estrella	Par trenzado	255	Paso de testigo

D. Protocolo de comunicación Modbus

El protocolo Modbus se ha convertido en un método estándar de la industria para la transferencia discreta de E/S analógicas de información y registro de datos entre el control y dispositivos de vigilancia. Modbus es ahora un dominio público abierto, además de ser un protocolo de comunicación industrial que solo utiliza 3 capas en comparación a las 7 capas del modelo OSI como se muestra en la figura 2.

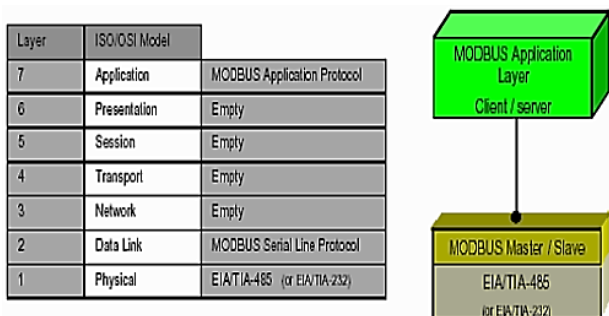


Figura 2. Comparativa entre modbus y OSI

Al utilizar una comunicación bus de campo se tiene por defecto al protocolo Modbus (ver tabla 1), el proceso de solicitud/respuesta utiliza una relación entre maestro/esclavo, en esta relación, un dispositivo envía una petición o solicitud y luego espera hasta que una respuesta sea enviada, el dispositivo maestro se responsabiliza de iniciar cada interacción [4].

E. Características del protocolo Modbus

En la tabla 2 se mencionan características generales del protocolo modbus en redes industriales.

TABLA 2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL PROTOCOLO MODBUS

Características del protocolo Modbus	
Características	Solo existe un maestro en una red al mismo tiempo. Pueden existir varios esclavos con un límite de 247. Los esclavos nunca transmiten si es que el maestro no lo solicita. Los esclavos no se pueden comunicar entre ellos, además pueden conectarse en el mismo campo de bus.
Modos de petición	<p>Unicast: Un maestro se comunica con un esclavo por lo que envía una petición al esclavo, recibe y procesa la petición y devuelve un mensaje al maestro.</p> <p>Broadcast: Un maestro envía una petición a todos los esclavos al mismo tiempo. Los esclavos no se comunican directamente entre sí.</p>
Interfaz	RS485 o fibra óptica
Distancia	Puede llegar hasta los 1200 mtrs si usar repetidores.

F. Tipos de protocolo Modbus

Modbus posee dos tipos de representación numérica de datos, además de presentar desigualdades en la estructura del protocolo. Modbus RTU es una representación binaria compacta de los datos. Modbus ASCII es una representación legible del protocolo pero menos eficiente [5].

— Modbus RTU: Este protocolo comunica bloques de 8 bits de datos que sigue una distribución de comandos/información con una suma de comprobación de redundancia cíclica (CRC) que ayuda a la comprobación de errores garantizando así la fiabilidad de los datos, por lo cual es la implementación más frecuente, utiliza una comunicación serie por lo que usa una representación binaria muy compacta de información para este protocolo de comunicación.

— Modbus ASCII: Este protocolo es utilizado en comunicaciones en serie por lo que hace uso de caracteres ASCII, solo comunica bloques de 7 bits de datos utilizando un checksum de control de redundancia longitudinal (LRC).

El punto que se toma en cuenta es que estos dos protocolos son incompatibles por lo que dispositivos con modbus RTU no pueden comunicarse con dispositivos que posean modbus ASCII.

G. Código de función del protocolo Modbus

Los códigos de función controlan las acciones que se debe realizar. De este modo, un código de función indica al esclavo que función debe tomar en cuenta, en la tabla 3 se identifican algunos código de función con los que trabaja el protocolo Modbus [6].

TABLA 3. CÓDIGOS DE FUNCIÓN DEL PROTOCOLO MODBUS

Código función	Descripción de la función	Tipo de dato		Acceso
02	Leer entradas discretas	Registro	Entrada	Lectura
03	Lectura de registros	Registro	Salida	Lectura
04	Leer registros de entrada	Registro	Entrada	Lectura
06	Escribir registro único	Registro	Salida	Lectura/Escritura
10	Varios registros de escritura	Registro	-----	Lectura/Escritura
2B	Leer identificación de dispositivo	-----	-----	Lectura

H. Modbus sobre TCP/IP

Modbus-TCP es simplemente el protocolo Modbus RTU con una interfaz TCP que se ejecuta en Ethernet. La estructura de mensajería Modbus es el protocolo de aplicación que define las normas para la organización y la interpretación de los datos independiente del medio de transmisión que proporciona el medio de transmisión a los de mensajes que utilizan Modbus TCP/IP [7]. En otras palabras el mensaje tipo Modbus no es más que una comunicación Modbus que se encuentra encapsulado en una trama Ethernet como se visualiza en la figura 3.

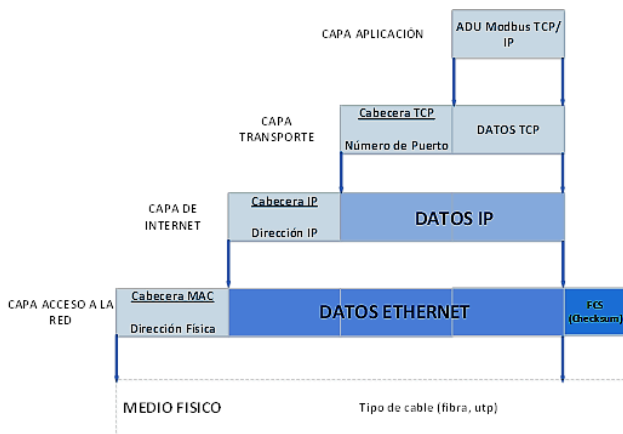


Figura 3. Encapsulamiento de información en una trama Ethernet

El equipo con protocolo Modbus no puede establecer una comunicación con una red Ethernet, para poder establecer una conexión con equipos en una red Ethernet se necesita una dirección IP cosa que un dispositivo Modbus no la contiene, es ahí en donde entra a trabajar las pasarelas o gateway que permiten comunicarse con otros equipos en una red Ethernet, es decir que para la comunicación de una red industrial a una red TCP/IP se necesitaría un hardware o software para su convergencia y comunicación como se puede ver en la figura 4 [8].

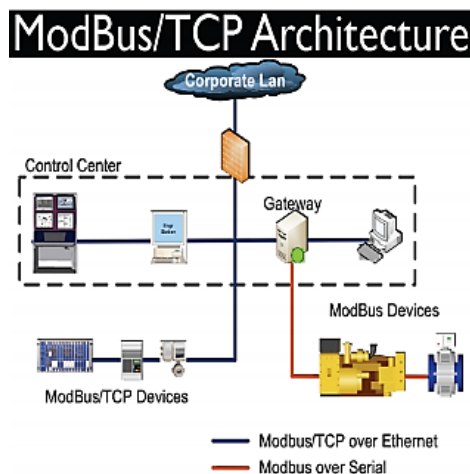


Figura 4. Arquitectura de una red Modbus sobre TCP/IP

III. MATERIALES Y MÉTODOS.

A. Diseño.

El diseño logró ser desarrollado en base al modelo en V logrando así gestionar el proyecto y por medio del análisis de varios requerimientos necesarios para el sistema fueron elegidos varios componentes, equipos y módulos en función a las necesidades para resolver la situación actual del tablero de distribución eléctrica del data center de la FICA de la Universidad Técnica del Norte.

B. Diagrama de Bloques.

El siguiente diagrama de bloques representa de manera contextual el proceso general y función que realiza cada una de las etapas del sistema de monitoreo (ver figura 5).

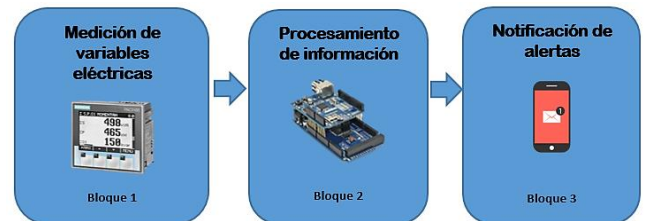


Figura 5. Diagrama de bloques del sistema de monitoreo eléctrico

El funcionamiento, dispositivos y materiales de cada bloque de la fig. 5 se detallan a continuación:

— **Bloque 1.** Consiste en el dispositivo de medición de variables eléctricas PAC 3100 del tablero eléctrico, este equipo logra dar lecturas de voltaje, corriente y potencia. Para la lectura de corrientes es necesario utilizar transformadores de corrientes para cada una de las fases eléctricas.

Para poder extraer esos valores este equipo posee una interfaz RS-485 con un protocolo de comunicación Modbus RTU, es así que mediante un circuito integrado RS-485 logra hacer conexión con el bloque 2 (arduino maestro.)

— **Bloque 2.** Incluye el procesamiento de información el cual será en donde se reciba, manipule e interprete los datos medidos, esto es procesado por un microcontrolador arduino de la serie Mega 2560 que trabaja como un dispositivo maestro, a su vez está conectado un socket Ethernet para una visualización gráfica via web de las variables medidas en el tablero eléctrico, un módulo RTC para tener una fecha y hora de las notificaciones que se generen y un módulo GSM que

será quien envíe las notificaciones de alerta mediante mensajería SMS.

— **Bloque 3.** En esta parte se muestra las notificaciones que el usuario recibe al momento de que exista alguna anomalía eléctrica en el sitio, estas notificaciones son enviadas mediante via GSM por mensajes de texto (SMS), además mediante via web se puede visualizar los valores de las diferentes variables. Una de las opciones más relevantes es que también se genera un registro en donde constan las fallas indicando la hora y fecha que se han suscitado.

C. Arquitectura del sistema

El sistema de monitoreo está diseñada básicamente con un módulo de medición de variables eléctricas catalogado como esclavo y se logra comunica por medio del protocolo modbus, el nodo maestro central que es el que recepta e interpreta la información modbus, además permite una comunicación con una red móvil GSM y una red TCP/IP, es así que la información enviada por el esclavo modbus es receptada y verificada por el maestro para generar notificaciones e interpretar la información de manera tangible para su visualización en una web. En la figura 6 se da a conocer tanto el diagrama de comunicación como sus diferentes procesos a seguir.

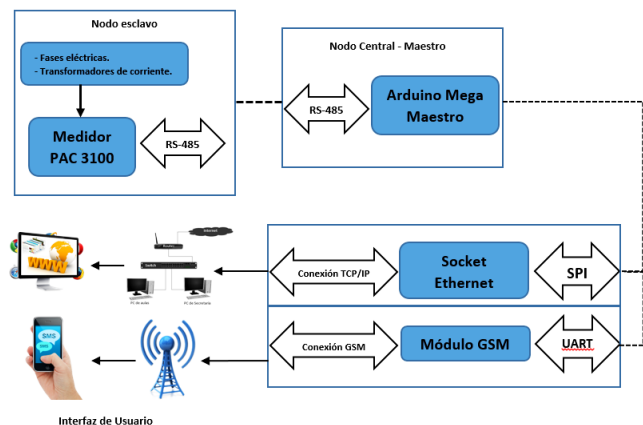


Figura 6. Arquitectura del sistema en general

D. Diseño del sistema de monitoreo

La figura 7 representa a una topología punto a punto debido a que en el intercambio de información solo interviene el nodo central maestro (arduino mega) y el dispositivo de medición determinado como esclavo.

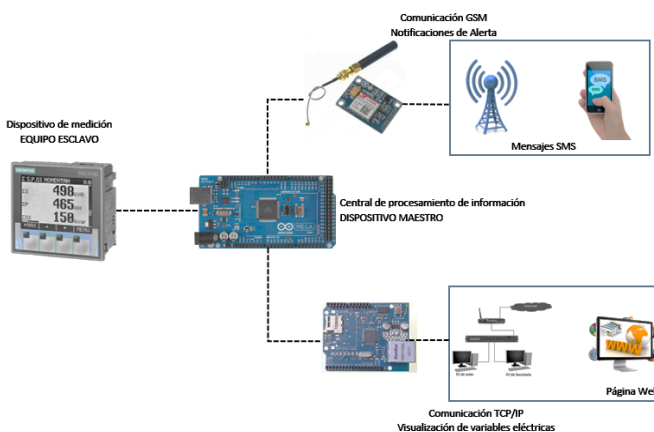


Figura 7. Esquema del sistema de monitoreo

En si todo el sistema está conformado por el medidor PAC 3100 como esclavo, el nodo central como el maestro y los diferentes módulos tanto para una comunicación inalámbrica (módulo GSM) como para una comunicación TCP/IP (socket Ethernet).

Nodo Esclavo (PAC 3100)

Es representado por el medidor digital de baja tensión PAC 3100 (ver figura 8), este dispositivo es utilizado para el sondeo de las variables eléctricas de voltaje, corriente y potencias de las fases eléctricas que presenta la acometida eléctrica.

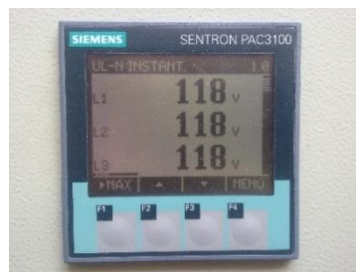


Figura 8. Dispositivo esclavo – PAC 3100

Diagrama de conexión del medidor y sus componentes.

Existen 2 tipos de conexión para este dispositivo de medición, el 3P3W y el 3P4W. La conexión realizada se basó en relación al número de fases eléctricas presentes en el tablero teniendo un total de 3 fases y 1 neutro. Mediante este dato se toma en consideración realizar la conexión 3P4W (3 fases-4 conductores). Adicional se realiza colocar 3 transformadores de corriente (una para cada fase) para obtener lectura de esta variable. En la figura 9 se muestra la conexión de todos estos componentes.

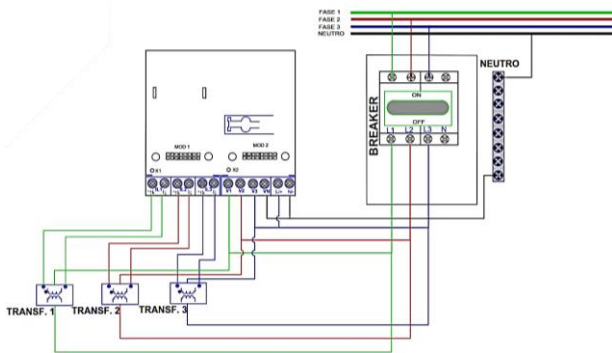


Figura 9. Diagrama de conexión del PAC 3100 y sus componentes

Nodo central de procesamiento

Es la base central de procesamiento del sistema de monitoreo que está constituido por un microcontrolador arduino mega que generará una comunicación con el medidor Siemens para la extracción de información, para establecer una comunicación con el nodo esclavo es necesario utilizar un circuito integrado MAX 485 entre el esclavo y el maestro (ver figura 10).

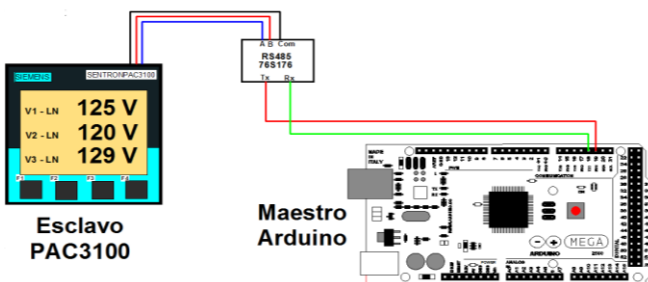


Figura 10. Esquema de conexión entre maestro/esclavo

Extracción y conversión de información

Al momento de extraer los datos entre el maestro y el esclavo se presentó un problema de interpretación de información por lo que mediante la conversión IEEE 745 se logró resolver este inconveniente, en el siguiente flujograma se especifica el proceso que se sigue para el desarrollo de este método de conversión.

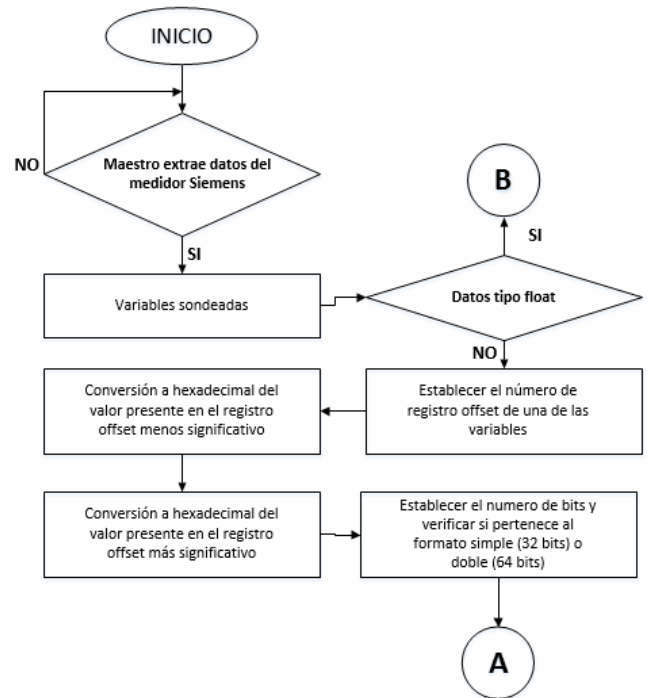


Figura 11. Proceso de extracción y verificación de la información sondeada

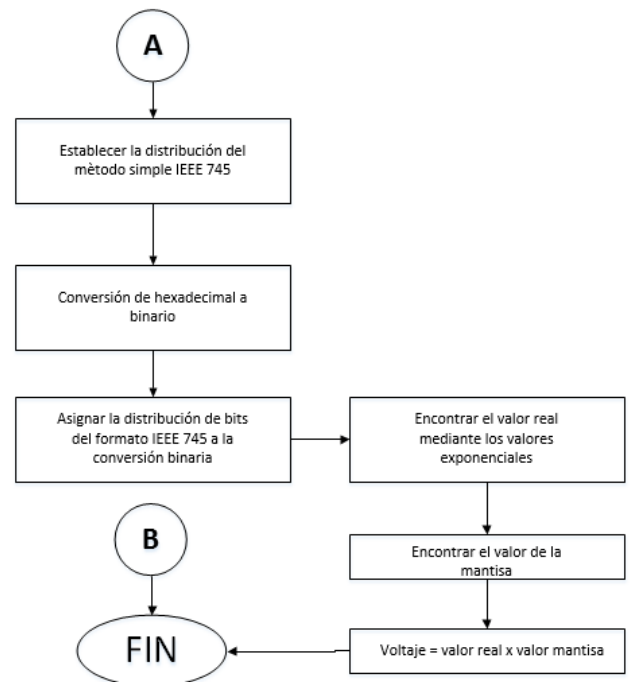


Figura 12. Proceso de conversión al método simple IEEE 745

Tomando en cuenta el flujograma de la figura 12 en donde se indica el proceso de conversión del método IEEE 745 que se toma en cuenta para obtener un dato de tipo float, por lo que se procede a detallar paso a paso este procedimiento.

Paso 1: Se establece los registros offset de cada una de las variables eléctricas (voltaje, corriente y potencia) que

presenta el módulo Siemens, por ejemplo en la figura 13 se visualiza que para la tensión L1 están determinados 2 registros para proyectar su valor por lo que está establecido desde el registro #1 y el segundo es el anterior, es decir el registro #0.

Offset	Número de registros	Nombre	Formato	Unidad
1	2	Tensión L1-N	Float	V
3	2	Tensión L2-N	Float	V
5	2	Tensión L3-N	Float	V

Figura 13. Registros offset de la variable de tensión

Paso 2: Establecer los valores de tensión sondeados que presenta cada uno de los registros offset.

	Alias	00000
0		61997
1	Voltaje L1	17138
2		49152
3	Voltaje L2	17139
4		55312
5	Voltaje L3	17140
6		0

Figura 14. Valores sondeados y ubicados en cada registro offset

Paso 3: Se cambia de formato decimal (dato nativo) a hexadecimal

TABLA 3. CONVERSIÓN DE DECIMAL A HEXADECIMAL

Offset	Valor Decimal	Valor Hexadecimal
0	17138	42 F2
1	61997	F2 2D

Paso 4: Esta conversión contiene 2 tipos formato, el de precisión simple (32 bits) y precisión doble (64 bits). Por lo cual se suman los bits de los valores sondeados en formato hexadecimal.

TABLA 4. VERIFICACIÓN DEL TOTAL DE BITS DE LA VARIABLE TENSIÓN

Registro (Offset)	1	0
Valor Hex	42 F2	F2 2D
# bytes	4	4
# bits	16	16
Total de bits		32

Establecido la longitud del dato se puede establecer el formato de precisión simple IEEE 754 que utiliza solo 32 bits para la representación de un dato.

Para la precisión simple cuando se desea escribir un número real se usan 32 bits de los cuales se los distribuye 1 bit para el signo (s) del número, 8 bits para el exponente o la parte real y los 23 bits restantes para la mantisa (m) por lo

que la distribución se muestra en la figura 75 de la siguiente manera:

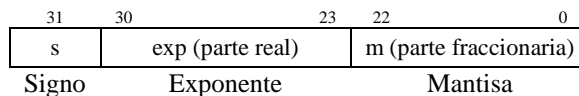


Figura 15. Distribución de bits del método simple IEEE 754

Paso 5: Realizar la conversión a binario del valor hexadecimal obtenido en la tabla 4 y distribuir con respecto a la figura 16.

4	2	F	2	F	2	2	D
0100	0010	1111	0010	1111	0010	0010	1101

Figura 16. Conversión de base 16 a base 2

Paso 6: Asignar la distribución para los bits de signo, exponente y mantisa presentes en la figura 17.

4	2	F	2	F	2	2	D
0100	0010	1111	0010	1111	0010	0010	1101

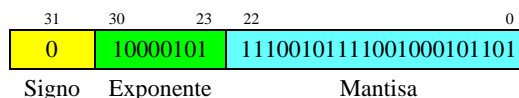


Figura 17. Distribución de bits para el formato IEEE 754

Paso 7: Se encuentra el valor real por medio de los valores exponenciales, posterior se suman los resultados de los valores exponenciales en donde exista un 1 lógico, esto se lo detalla en la figura 18:

EXPONENTE							
2^7	2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0
1	0	0	0	0	1	0	1
128	64	32	16	8	4	2	1

Figura 18. Distribución de bits de la parte exponencial

$$\begin{aligned} \text{Exp} &= 128+4+1 \\ \text{Exp} &= 133 \\ \text{Valor real} &= 2^{\text{exp} - \text{exps}} \\ \text{Valor real} &= 2^{133 - 127} \\ \text{Valor real} &= 2^6 = \underline{64} \end{aligned}$$

En donde el valor de exp, es constante por lo que siempre será de 127.

Paso 8: Obtener el valor de la mantisa para lo cual es identico al proceso anterior pero el cambio es que la notación científica va en forma descendente y posteriormente se suman los valores en los que en el formato binario presente un 1 lógico, en la tabla 5 se detalla el proceso realizado.

TABLA 5.
PROCESO DE OBTENCIÓN PARA EL VALOR DE LA MANTISA

MANTISA		
2 ⁻¹	1	0.5
2 ⁻²	1	0.25
2 ⁻³	1	0.125
2 ⁻⁴	0	0.0625
2 ⁻⁵	0	0.03125
2 ⁻⁶	1	0.015625
2 ⁻⁷	0	0.0078125
2 ⁻⁸	1	0.00390625
2 ⁻⁹	1	0.001953125
2 ⁻¹⁰	1	0.0009765625
2 ⁻¹¹	1	0.0004882813
2 ⁻¹²	0	0.0002441406
2 ⁻¹²	0	0.0001220703
2 ⁻¹⁴	1	0.0000610352
2 ⁻¹⁵	0	0.0000305176
2 ⁻¹⁶	0	0.0000152588
2 ⁻¹⁷	0	0.0000076294
2 ⁻¹⁸	1	0.0000038147
2 ⁻¹⁹	0	0.0000019073
2 ⁻²⁰	1	0.0000009537
2 ⁻²¹	1	0.0000004768
2 ⁻²²	0	0.0000002384
2 ⁻²³	1	1.19209290E-7

- **Mantisa** = $2^{-1} + 2^{-2} + 2^{-3} + 2^{-6} + 2^{-8} + 2^{-9} + 2^{-10} + 2^{-11} + (2^{-14} + 2^{-18} + 2^{-20} + 2^{-21} + 2^{-23})$

- **Mantisa** = $0.5 + 0.25 + 0.125 + 0.015625 + 0.00390625 + 0.001953125 + 0.0009765625 + 0.0004882813 + 0.0000610352 + 0.0000038147 + 0.0000009537 + 0.0000004768 + 1.19209290E-7$

- **Mantisa = 0,898015618**

La mantisa se almacena en los bits 1-23. Un bit de avance invisible (es decir, no está realmente almacenado) con el valor 1.0 se coloca al frente, luego de la sumatoria de la mantisa obtenida, es decir que el valor final de la mantisa es:

Mantisa = 1,898015618

Paso 9: Por último paso se agrupa todos los resultados para interpretar el resultado en un valor de formato float requerido por el medidor para coincidir lecturas de medición.

- Signo = 0 ---> El valor será positivo
- Valor real de la parte del exp = $2^6 = 64$
- Valor de la mantisa = 1,898015618

Voltaje L1 (formato float) = Valor real de la parte del exp * Valor de la mantisa

Voltaje L1 = $64 * 1,898015618$

Voltaje L1 = **121,472999552 [V]**

Como se aprecia por medio del método de precisión simple de 32 bits IEEE 754 se ha llegado al tipo de dato deseado y así es el proceso para todos los valores de medición que presenta el dispositivo PAC 3100.

Comunicación Ethernet

Para establecer la comunicación entre la red modbus RTU y una red TCP/IP fue necesario utilizar el socket Ethernet W5100, estará integrado con el microcontrolador arduino por medio del bus ICSP logrando así trabajar conjuntamente.

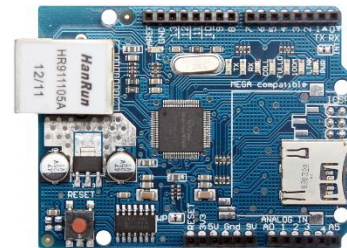


Figura 19. Shield Ethernet W5100

Comunicación Móvil GSM

Para generar las notificaciones de tipo SMS fue necesario utilizar el módulo SIM 800L, posee una antena para realizar el enlace a una torre móvil, este se comunicará con el microcontrolador arduino por medio de una comunicación UART el cual controlará las acciones que debe realizar.

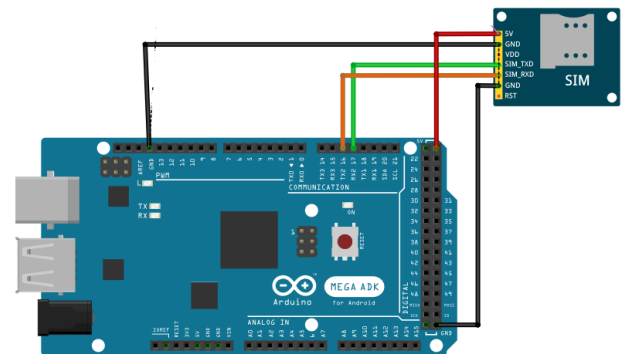


Figura 20. Comunicación entre microcontrolador arduino y SIM 800L

Frecuencias de trabajo del SIM 800L

La funcionalidad más eficiente del SIM800L es su capacidad Quad-band, es decir que trabaja en las cuatro bandas para la comunicación móvil (850, 900, 1800, 1900 MHz). En Ecuador se hace el uso de las bandas de 850 MHz para Claro, 1900 MHz para CNT, mientras que 850 o 1900 MHz son utilizados por Movistar en redes 3G.

Fuente de alimentación del sistema

Debido a que el sistema de monitoreo se está alimentando del tablero de distribución fue necesario colocar una fuente de alimentación de respaldo debido a que si se generara un corte energético el sistema de monitoreo quedaría sin funcionar. Para la alimentación de los módulos del sistema se escogió una batería recargable seca de 12 [V] 4 [A] teniendo en cuenta las características de alimentación de cada componente del sistema.

TABLA 6. CONSUMO DE MÓDULOS DEL SISTEMA

Dispositivo	Corriente Modo normal	Corriente – Modo dormido
Arduino Mega Socket Ethernet	170 [mA]	170 [mA]
Circuito integrado MAX 485	70 [mA]	70 [mA]
Módulo SIM 800L	250 [mA]	70 [mA]
Módulo RTC	25[mA]	25 [mA]

El tiempo de respaldo deber ser mayor a 3 horas debido a que ese tiempo es el corte energético más largo presente en el sitio donde esta implementado el sistema. Por lo que la capacidad total de la batería es:

$$C = V_{bat} * I_{bat} \tag{I}$$

$$C = 12 [V] * 4[A]h$$

$$C = 48 [W]h$$

El consumo total que genera el sistema de acuerdo a la tabla 6 es la siguiente:

$$C_{sist} = V_{bat} * I_{sist} \tag{II}$$

$$C_{sist} = 12 [V] * 0.515[A]$$

$$C_{sist} = 6.18[W]$$

Se posee una batería recargable seca de 12 [V] 4[Ah], por lo que el tiempo de respaldo de la batería será:

$$TiempoRespaldo = \frac{C_{bat}}{C_{sist}}$$

$$TiempoRespaldo = \frac{48 [W]h}{6.18 [W]}$$

TiempoRespaldo = 7.76 h aproximadamente

En resumen el tiempo de respaldo con una batería de 12 [V] 4 [A]h es de 8 horas y 16 minutos aproximadamente lo cual satisface a la demanda de 3 horas sin energía que se ha suscitado dando así que la batería seleccionada si satisface el requerimiento para el sistema.

E. Diseño del software

En el siguiente flujograma se muestra el proceso de conexión y extracción de información entre el nodo maestro y el esclavo.

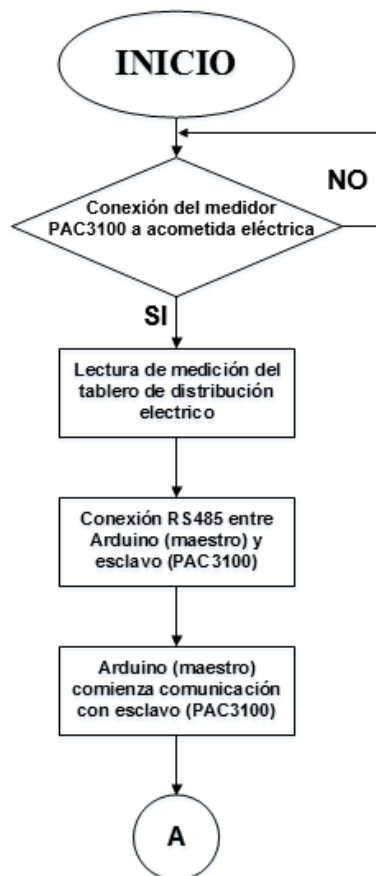


Figura 21. Flujograma del proceso de comunicación entre microcontrolador arduino u medidor Siemens

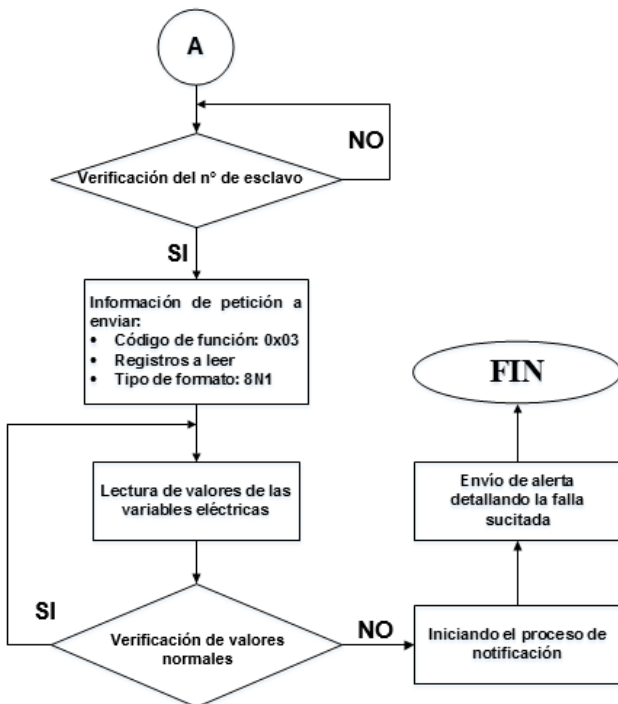


Figura 22. Flujograma del proceso de extracción de información

De igual forma se toma en cuenta el proceso que debe realizar el módulo SIM en la generación de notificaciones, este proceso se lo detalla en el siguiente diagrama de flujo:

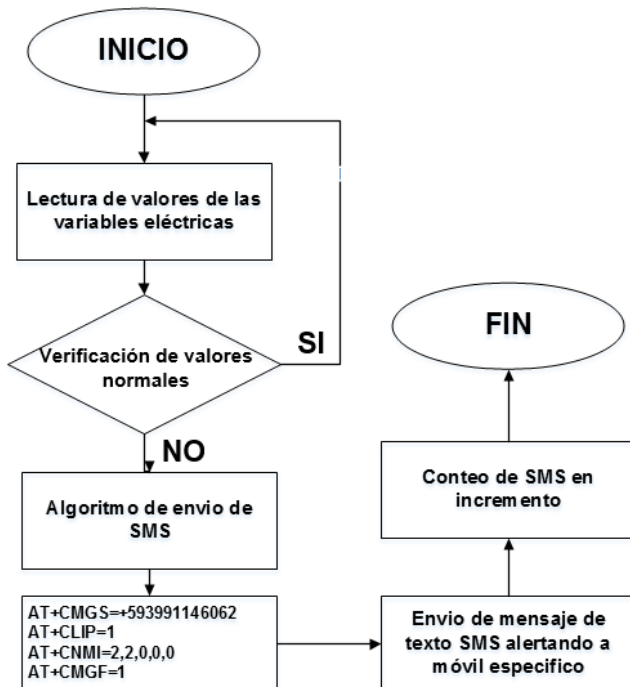


Figura 23. Flujograma del proceso de la notificación SMS

Plataforma Web

Para el proyecto se estableció la creación de una página web en donde se visualicen las lecturas de medición del tablero eléctrico en tiempo real, por lo que se decidió crear

mediante programación HTML y agregarla en la programación del arduino dejando así en el mismo sistema de procesamiento un servidor web que no necesita de servidores externos para poder acceder a la información receptada.

IV. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Para las pruebas fue necesario la implementación de un nuevo gabinete eléctrico con todos los componentes necesarios, esto se lo realizó en el data center situado dentro de secretaria de CIERCOM - CITEL. En la fig. 24 se establece el punto exacto de colocación (cuadro rojo).

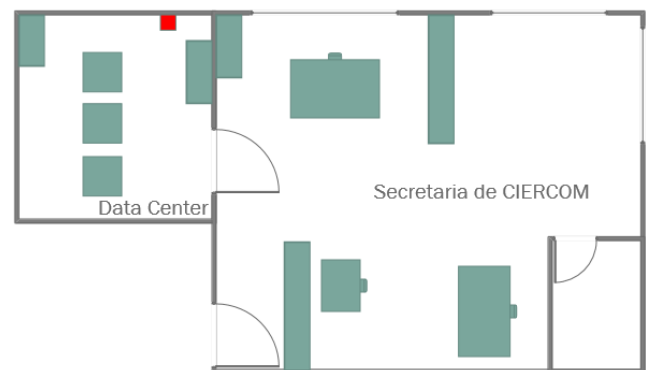


Figura 24. Ubicación del sistema de monitoreo



Figura 25. Nodo esclavo (PAC 3100) en gabinete eléctrico



Figura 26. Nodo maestro del sistema en gabinete eléctrico

A. Pruebas de Sensado

Se realizó pruebas de funcionamiento en sitio en donde 2 fases eléctricas quedaron sin energía lo que producirá como resultado una lectura de 0 en estas 2 fases como muestra la figura 27.



Figura 27. Lectura de variables eléctricas con corte energético

Datos en tiempo real

El nodo maestro (microcontrolador arduino) establece una comunicación permanente con el medidor Siemens realizando extracción de datos sondeados cada segundo al esclavo. La información de carencia de energía en dos de las tres fases es receptorá en el módulo maestro.

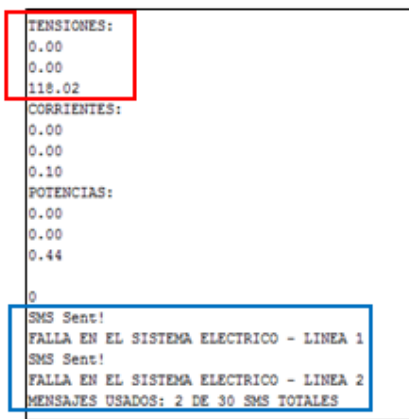


Figura 28. Lectura de variables eléctricas con corte energético

Generación de notificaciones

Al momento de generarse la anomalía eléctrica, el microcontrolador arduino (maestro) pasa al algoritmo de envío del SMS y buscará el número móvil de la persona asignada, el módulo GSM comenzará a realizar una conexión a una red 3G y posterior enviará el mensaje como se muestra en la figura 29.

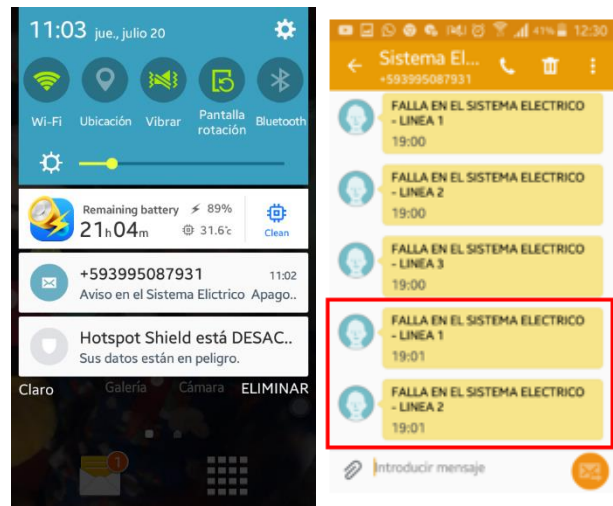


Figura 29. Notificación de alertas via SMS

Generación de reportes

Una vez que se presente alguna anomalía el sistema prácticamente guarda en una base de datos (micro SD) situado en el maestro, así generando una lista de reportes estableciendo la fecha, hora y el problema que se ha suscitado, este proceso se lo muestra en la figura 30. Esta información será almacenada en un archivo de tipo .txt que se encuentra en el micro SD.

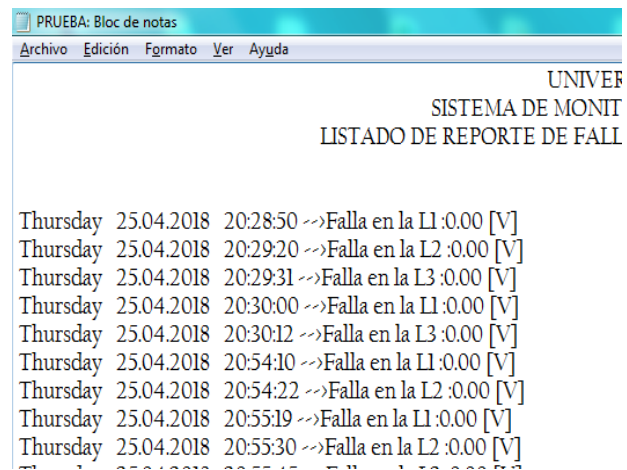


Figura 30. Lista de reportes de fallas eléctricas.

Datos visualizados via web

Mediante la programación realizada se implementó una página web con programación HTML para plasmar los valores receptorados de cada una de las fases eléctricas en tiempo real como se muestra en la figura 31. La página consta de una línea de texto especificando respectivamente cada una de las fases receptoradas y su valor.

SISTEMA DE MONITOREO ELÉCTRICO
DATA CENTER - CIERCOM - FICA

CIERCOM
ASOCIACIÓN DE ESTUDIANTES
INGENIERÍA EN ELECTROINFORMÁTICA
Y REDES DE COMUNICACIÓN

Mediciones de variables realizadas al tablero de distribución eléctrico situado en el Data Center de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas (FICA) de la Universidad Técnica del Norte.

VARIABLES DE MEDICIÓN

MEDICIÓN DE VOLTAJES		MEDICIÓN DE CORRIENTES	
Voltaje L1 - N	120.51 [V]	Corriente L1	0.00 [A]
Voltaje L2 - N	120.51 [V]	Corriente L2	0.11 [A]
Voltaje L3 - N	120.51 [V]	Corriente L3	0.00 [A]

MEDICIÓN DE POTENCIAS		MEDICIÓN DE FRECUENCIA Y FACTOR DE POTENCIA	
Potencia L1	0.00 [W]	Frecuencia Red Eléctrica	60
Potencia L2	6.66 [W]	Factor de Potencia	
Potencia L3	0.00 [W]		

Figura 31. Lista de reportes de fallas eléctricas.

Diagrama total del sistema de monitoreo

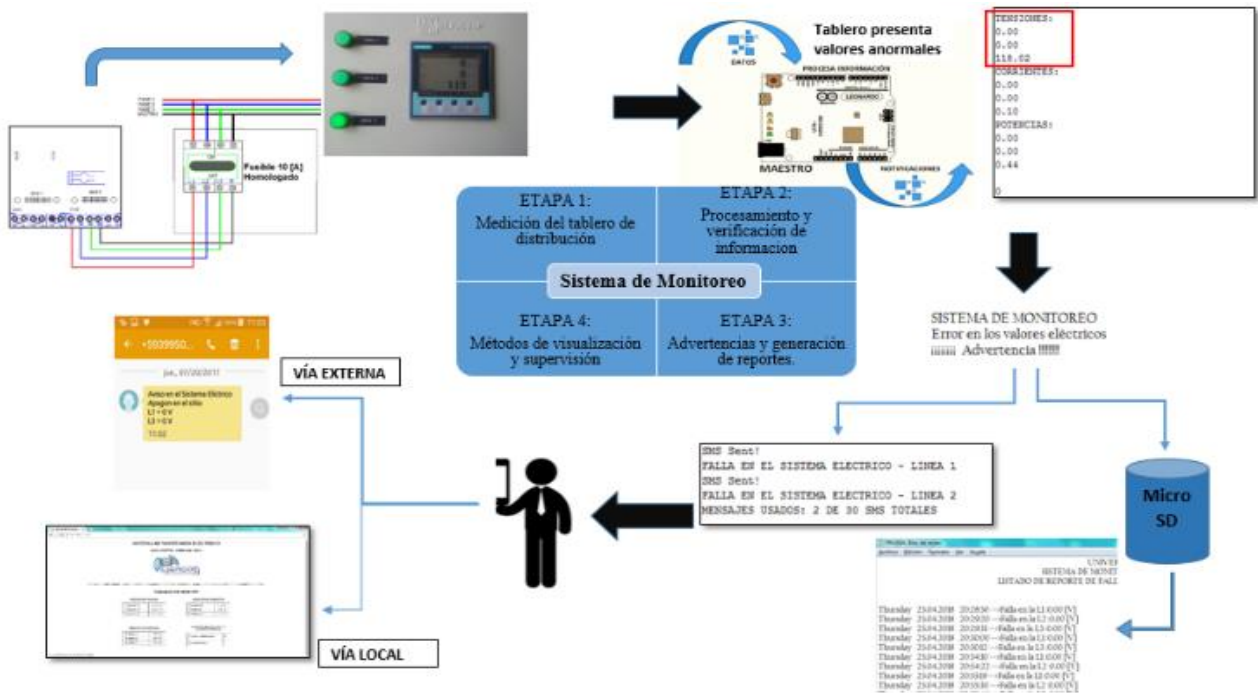


Figura 32. Diagrama Total del sistema de monitoreo

V. PRESUPUESTO REFERENCIAL

El sistema de monitoreo está conformado por diferentes componentes, módulos y dispositivos electrónicos lo cual con la integración de todos estos se obtuvo un sistema que sondee, notifique y visualice anomalías en ambientes eléctricos, estas son características que identifica de otros sistemas de diferentes marcas, además de presentar un grado de complejidad baja y con la opción de escalar a niveles complejos. Como se aprecia en la tabla 7, los implementos utilizados no presentan un mayor costo por lo que construir este sistema no presentaría mayor costo.

TABLA 7. CONSUMO DE MÓDULOS DEL SISTEMA

Elemento	Costo	Cantidad	Costo Total
PAC 3100	450.00	1	504.00
Transformadores de corriente	13,54	3	45,48
Gabinete BEAUCOUP	87,06	1	97,51
Platina Cobre	9,60	2	21,50
Arduino Mega	22,50	1	25,20
Socket Ethernet	12,50	1	14,00

Módulo GSM	12,50	1	14,00
Módulo RS485	4,20	1	4,70
Batería FAMMA 12 [V] 4 [A]	15,00	1	16,80
TOTAL			743.19

VI. CONCLUSIONES

- La comunicación entre algunos equipos y placas embebidas no suelen ser siempre compatibles, esto se lo comprobó entre el medidor digital Siemens y el microcontrolador arduino, esto ocasionó un problema de interpretación al momento de extraer la información por no utilizar el software propietario de monitoreo **Powerconfig**, por lo que mediante el circuito RS-485 se establece una comunicación con el medidor y con la conversión IEEE 745 se resuelve el inconveniente y así se obtiene una extracción de datos legible que coincide con la información que presta el medidor digital de manera instantánea.
- La mayor parte de sistemas de monitoreo para aplicaciones eléctricas suelen ser para supervisión en sitio por lo que intervienen varios recursos como software, equipos y operarios, este no es nuestro caso, ya que el proyecto está centralizado e integrado solo por módulos con funciones automáticas de monitoreo. Además puede ser implementado a gran escala en diferentes locaciones ya que es escalable gracias a la comunicación RS-485 que admite hasta 256 estaciones en el mismo medio físico dependiendo de la configuración que se la realice lo cual beneficia a la entidad logrando así que ésta solución de baja complejidad ahorre tanto en costos, tiempo y recursos para el monitoreo eléctrico.
- La confiabilidad y disponibilidad de cualquier sistema es indispensable al momento de iniciar a funcionar por lo que se incluyó baterías de respaldo para dar autonomía a todo el sistema de monitoreo logrando así evitar la interrupción de las funciones establecidas.

Agradecimientos.

A la casona universitaria y a mis docentes de la facultad por todo este tiempo, brindando así conocimiento para ser un profesional con criterio, ético y humanista que me servirá en toda mi vida profesional.

Un agradecimiento especial a mi tutor de tesis, el Ing. Carlos Pupiales por el apoyo brindado, consejos y sugerencias para el desarrollo y culminación de este proyecto.

Agradezco al Ing. Jaime Michilena en calidad de asesor por brindar su ayuda y sus conocimientos en el proceso del tema de titulación.

Agradezco además al Ing. Fabián Cuzme en calidad de asesor por apoyar con su ayuda y conocimientos en el proceso del tema de titulación.

A mis amigos/as quienes también son una parte esencial de mi vida universitaria a ellos también les doy las gracias por todas las experiencias que compartimos juntos.

Referencias Bibliográficas.

- [1] I. O. A. Rojas, «Redes Industriales,» de *Software para aplicaciones industriales*, Popayán, Universidad del Cauca, 2002, p. 198.
- [2] J. M. H. Torres, «Sistemas Industriales de Control,» Departamento de Electricidad-Electrónica. I.E.S. Himilce, Linares, 2009.
- [3] E. P. López, «Los sistemas SCADA en la automatización industrial,» Universidad de Costa Rica, Recinto Grecia , 2015.
- [4] N. Instruments, «Información Detallada sobre el Protocolo Modbus,» Publicaciones National Instruments, México , 2014.
- [5] F. A. C. Herías, «Universidad de Alicante,» 11 Octubre 2011. [En línea]. Available: <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/18990/1/AA-p3.pdf>. [Último acceso: 12 Julio 2018].
- [6] WEG, «WEG,» Diciembre 2012. [En línea]. Available: <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-srw01-manual-de-la-comunicacion-modbus-rtu-10000521680-4.0x-manual-espanol.pdf>. [Último acceso: 14 Julio 2018].
- [7] D. Ingeniería, «Unitronics,» 1 Abril 2010. [En línea]. Available: http://www.side-automatizacion.com/es/system/files/suport/20.-comunicaciones_modbus_tcp_ip_0.pdf. [Último acceso: 15 Julio 2018].
- [8] J. Rinaldi, «RTA,» Octubre 2013. [En línea]. Available: <https://www.rtaautomation.com/technologies/modbus-tcpip/>. [Último acceso: 16 Julio 2018].

- [9] M. F. Torres, «DISEÑO DE UN SISTEMA SCADA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE UN PISO DE UNA EDIFICACIÓN, USANDO UNA TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS PARA LA EMPRESA M&B,» Ambato, 2007.

Redes de Comunicación en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito – Ecuador en 2015.

Sobre los Autores.



John Jairo PEÑAFIEL ESPINOZA, nació en Quito-Ecuador el 19 de junio de 1990. Realizó sus estudios secundarios en varios planteles educativos.

Comenzó en el Colegio Católico “Juan Pablo II” por 2 años en Quito, luego se trasladó a vivir a la ciudad de Ibarra donde comenzó sus estudios secundarios en el Colegio Fiscomisional “Juan Pablo II Sede Ibarra” por 1 año. Finalmente acabo sus estudios en el Colegio Universitario “UTN” obteniendo el título de Bachiller en Físico Matemático. Actualmente está culminando su proceso de titulación para obtener el título en Ingeniero en Electrónica y Redes de Comunicación de la Universidad Técnica del Norte, Ibarra-Ecuador.

Carlos H. PUPIALES, Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones en la Escuela Politécnica Nacional en el 2010. En el año 2015 recibió su título de Master of Telecommunications Engineering por la Universidad de Melbourne - Australia. Actualmente desempeña el cargo de Docente en la Universidad Técnica del Norte de la ciudad de Ibarra.

Jaime R. MICHILENA, Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones en la Escuela Politécnica Nacional en el año 2007. Actualmente es docente de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación de la Universidad Técnica del Norte, Obtiene su Maestría en Redes de Comunicación en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador en el año 2016 Quito- Ecuador.

Fabián G. CUZME, Ingeniero en Sistemas Informáticos, Universidad Técnica de Manabí – Ecuador en 2009. Actualmente es docente en la carrera de Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación en la Universidad Técnica del Norte, Ibarra – Ecuador, obtuvo la Maestría en

Design of a monitoring system for the acquisition of data of the electrical system through SMS messaging in the data center of the Faculty of Engineering in Applied Sciences of the Technical University of North.

Authors: John Jairo PEÑAFIEL ESPINOZA, Ing. Carlos Hernán PUPIALES YÉPEZ, Ing. Jaime Roberto MICHILENA CALDERÓN, Ing. Fabián Geovanny CUZME RODRÍGUEZ.

Faculty of Engineering of Applied Science, Technical University of North 17th Avenue from July 5 to 21, and José María Córdova, Ibarra, Imbabura

jjpeniafiele@utn.edu.ec, chpupiales@utn.edu.ec, jrmichilena@utn.edu.ec, fgcuzme@utn.edu.ec

Abstract. *The purpose of this project is to design and implement a monitoring system to probe in real time electrical variables such as voltage, current and power to generate notifications of electrical faults for the electrical distribution board in the FICA data center of the University Northern Technique The system is designed according to IEC 61557-12 standards and DIN EN 61000-4-2,5,11 respectively, which establishes behavior, compatibility and use of electrical devices in low voltage distribution systems. To build this project we used a digital module for the reading of low voltage electrical variables, a GSM communication module, an Arduino Mega microcontroller and an Ethernet socket to generate a communication with the electrical world of the distribution board. This system can be implemented at low or large scale to monitor variables and electrical states in different locations since it is scalable at low price and low complexity.*

Keywords

Modbus, RTU, PAC 3100 Digital Measurer, General Distribution Board, UPS, Electric System, RS-485 communication.

I. INTRODUCTION

In the field of communication specifically in industrial environments, an interest has now been generated in the control, supervision, reliability and availability of monitoring systems in energy networks of small and large-scale buildings.

There is a variety of companies that generate a host of applications with high level of development on this issue, almost the majority has a great economic value which is a bit expensive to access the product and are usually premeditated only to create a luxury experience in the client that in providing the development of some specific activity. In the industrial or business sector, the monitoring of

electrical energy for the operation of equipment, devices or machines is of vital importance. The poor performance can generate failures which would cause damage to machines or equipment directly affecting the economy.

The monitoring system for notifications of electrical faults fulfills the function to alert the administrator of the data center that an anomaly is taking place such as overvoltage, voltage drop or power cut in place, in case of arriving at any of these situations, alerts will be generated notifying So the problem by SMS text messages in an instant and so act briefly to avoid problems in the computer equipment. This system is of great help to prevent physical and logical damage in the different data center equipment.

II. DEFINITION AND BASIC CONCEPTS

The following definitions and concepts are necessary to understand them to have theoretical bases in the development of the project.

A. Industrial Networks

The industrial networks can be determined as a series of equipment or stations interconnected with each other with the function of obtaining information available from I / O of one or several devices in the network [1]. Therefore, these networks are made up of control and / or measurement equipment such as:

- Drivers
- Actuators
- Control systems
- Industrial PC's
- Smart modules

To facilitate the communication process, industrial networks can simply be divided into three (3) levels as shown in Figure 1:

- Higher level or management: It is who provides information about the network or who provides production orders at lower levels.
- Intermediate level or processes: It is made up of the teams that are capable of managing the sensors present in the lower level, these are devices or components based on microprocessors, intelligent controllers or programmable automata.
- Lower level or sensors: This level contains all the components related to the measurement such as actuators, sensors and controllers, being the main support of this type of networks [2].

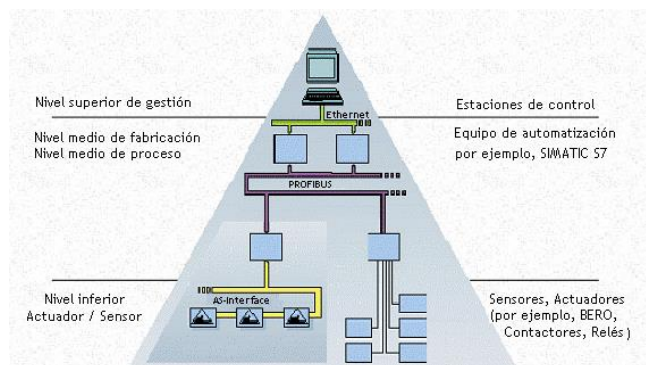


Figure 33. Clasification of industrial networks

B. Industrial Communications

The main characteristic that the communications of the industrial networks must present is the real-time response, in addition to resisting hostile environments such as electromagnetic noise and harsh environmental conditions [2].

Depending on the industrial environment where it will be used, there are several types of networks:

- Factory Network: Usually used in office networks, administration, sales, accounting, administration, etc. The amount of information exchanged is very high, in addition to response times that are not critical in this type of networks [3].
- Plant Network: The interconnection of modules and manufacturing nodes with the planning or design departments intervenes in this class.
- Fieldbus: Basically it is "a system of field devices (sensors and actuators) and control devices, which share a

bidirectional serial digital bus to transmit information between them, replacing the conventional analog transmission point to point" [2].

C. Types of industrial communication protocols.

There are several industrial protocols that are generated by various mark for specific use in the communication of processes of their equipment, control and communication of data of the industries.

In the table 1 emphasizes the most relevant technical characteristics of the communication protocols used in industrial communications [2].

TABLE 1. TYPES OF COMMUNICATION PROTOCOLS

Protocols	Topology	Physical means	Nodes by Seg.	Access to the means
Profibus	Linear bus, ring, star.	Shielded twisted pair	125	Witness step Master/slave
Modbus	Linear bus	Twisted pair	248	Master/slave
Interbus	Ring	Twisted pair	256	Witness step
Bitbus	Linear bus	Twisted pair Optical fiber	29	Master/slave
CAN	Linear bus	Twisted pair	127	CSMA
ARCNET	Bus, star.	Twisted pair, Optical fiber, coaxial	255	Witness step

D. Modbus communication protocol

The Modbus protocol has become an industry standard method for discrete transfer of analog I / O information and data logging between control and monitoring devices. Modbus is now an open public domain, in addition to being an industrial communication protocol that only uses 3 layers compared to the 7 layers of the OSI model as shown in Figure 2.

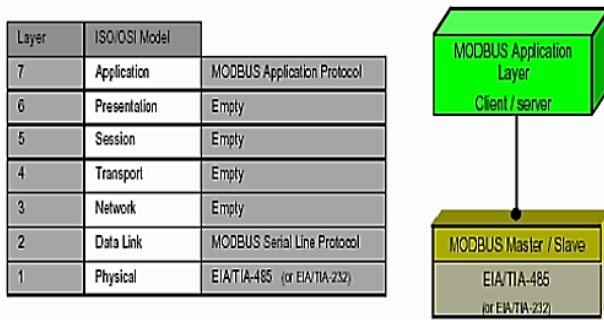


Figure 34. Comparison between modbus and OSI

When using a fieldbus communication, the Modbus protocol is defaulted (see table 1), the request / response process uses a master / slave relationship, in this relation, a device sends a request or request and then waits until a response is sent, the master device is responsible for initiating each interaction [4].

E. Modbus protocol characteristics

Table 2 lists the general characteristics of the Modbus protocol in industrial networks.

TABLE 2. GENERAL CHARACTERISTICS OF THE MODBUS PROTOCOL

Características del protocolo Modbus	
Characteristics	There is only one teacher in a network at the same time. There can be several slaves with a limit of 247. Slaves never transmit if the master does not request it. The slaves cannot communicate with each other, they can also connect in the same bus field.
Request modes	<p>Unicast: A master communicates with a slave so it sends a request to the slave, receives and processes the request and returns a message to the master.</p> <p>Broadcast: A master sends a request to all slaves at the same time. The slaves do not communicate directly with each other.</p>
Interface	RS485 or Optical fiber
Distance	You can reach up to 1200 mtrs if you use repeaters.

F. Modbus protocols types

Modbus has two types of numerical data representation, in addition to presenting inequalities in the structure of the protocol. Modbus RTU is a compact binary representation of the data. Modbus ASCII is a readable representation of the protocol but less efficient [5].

– Modbus RTU: This protocol communicates blocks of 8 bits of data that follows a distribution of commands / information with a cyclic redundancy check sum (CRC)

that helps to check errors, thus guaranteeing the reliability of the data, which is why The most frequent implementation uses a serial communication so it uses a very compact binary representation of information for this communication protocol.

– Modbus ASCII: This protocol is used in serial communications so it makes use of ASCII characters, it only communicates blocks of 7 bits of data using a longitudinal redundancy control (LRC) checksum.

The point taken into account is that these two protocols are incompatible so that devices with modbus RTU cannot communicate with devices that have modbus ASCII.

G. Modbus protocol function code

The function codes control the actions that must be performed. In this way, a function code indicates to the slave which function it must take into account; Table 3 identifies some function codes with which the Modbus protocol works [6].

TABLE 3. MODBUS PROTOCOL FUNCTION CODE

Function Code	Description	Date type	Access
02	Read discrete entries	Record Input	Reading
03	Reading of records	Record Output	Reading
04	Read entry records	Record Input	Reading
06	Write only record	Record Output	Reading/writing
10	Some writing records	Record -----	Reading/writing
2B	Read device identification	-----	Reading

H. Modbus on TCP/IP

Modbus-TCP is simply the Modbus RTU protocol with a TCP interface that runs on Ethernet. The Modbus messaging structure is the application protocol that defines the rules for the organization and interpretation of the data independent of the transmission medium that provides the transmission medium to messages that use Modbus TCP / IP [7]. In other words, the Modbus message is nothing more than a Modbus communication that is encapsulated in an Ethernet frame as shown in Figure 3.

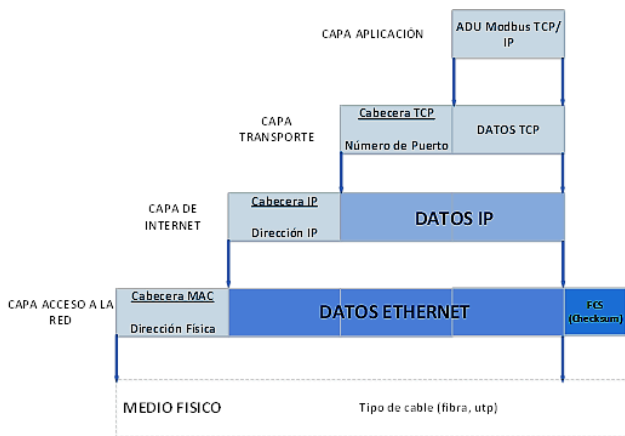


Figure 35. Encapsulation of information in an Ethernet frame

The equipment with Modbus protocol cannot establish a communication with an Ethernet network, in order to establish a connection with equipment in an Ethernet network an IP address is needed, something that a Modbus device does not contain, this is where the gateways or gateways work. gateway that allows to communicate with other equipment in an Ethernet network, that is to say that for the communication of an industrial network to a TCP / IP network it would need a hardware or software for its convergence and communication as can be seen in figure 4 [8].

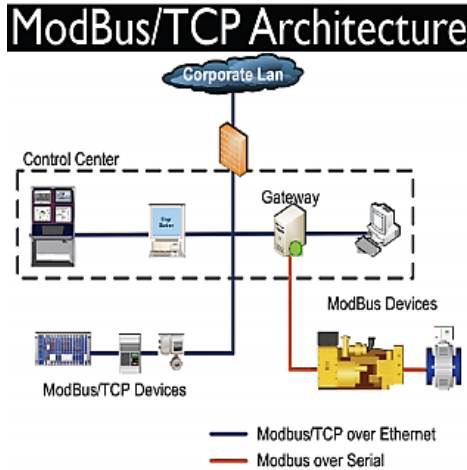


Figure 36. Architecture of a Modbus network over TCP/IP

III. MATERIALS AND METHODS

A. Design.

The design was able to be developed based on the V model, thus managing the project and through the analysis of several requirements necessary for the system, several components, equipment and modules were chosen according to the needs to solve the current situation of the distribution

board. of the data center of the FICA of the Technical University of North.

B. Blocks diagram.

The following block diagram represents in a contextual way the general process and function performed by each of the stages of the monitoring system (see figure 5).

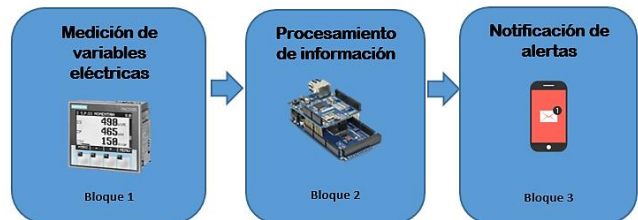


Figure 37. Block diagram of the electrical monitoring system

The operation, devices and materials of each block of figure 5 are detailed below:

— **Block 1.** It consists of the PAC 3100 electrical variables measuring device of the electrical panel, this equipment manages to give voltage, current and power readings. For current reading it is necessary to use current transformers for each of the electrical phases.

In order to extract these values, this equipment has an RS-485 interface with a Modbus RTU communication protocol, so that through an RS-485 integrated circuit it manages to make connection with block 2 (master arduino.)

— **Block 2.** Includes the information processing which will be where the measured data is received, manipulated and interpreted, this is processed by an arduino microcontroller of the Mega 2560 series that works as a master device, in turn a socket is connected Ethernet for a graphical visualization via web of the variables measured in the electrical panel, an RTC module to have a date and time of the notifications that are generated and a GSM module that will send the alert notifications by SMS messaging.

— **Block 3.** This part shows the notifications that the user receives when there is an electrical anomaly in the site, these notifications are sent via GSM via text messages (SMS), also via web you can see the values of the different variables. One of the most relevant options is that a record is also generated in which the faults are recorded indicating the time and date that have been raised.

C. System Architecture

The monitoring system is basically designed with a module for measuring electrical variables cataloged as a slave and is achieved by means of the modbus protocol, the central master node that receives and interprets the modbus information, and also allows communication with a network GSM mobile and a TCP / IP network, so the information sent by the modbus slave is received and verified by the master to generate notifications and interpret the information in a tangible way for viewing on a web. Figure 6 shows both the communication diagram and its different processes to be followed.

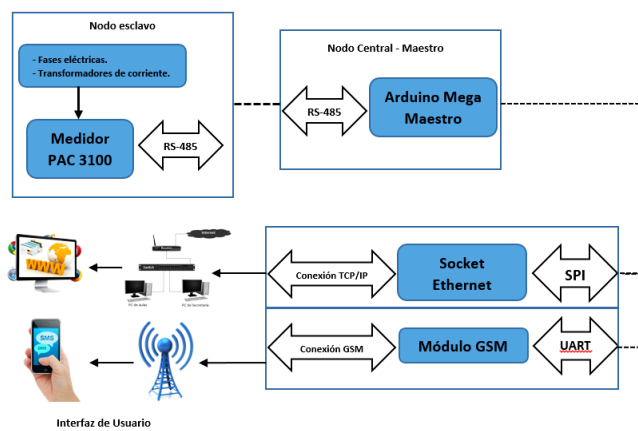


Figure 38. System Architecture in general

D. Design of the monitoring system

Figure 7 represents a point-to-point topology because in the exchange of information only the master central node (arduino mega) and the measuring device determined as a slave intervene.

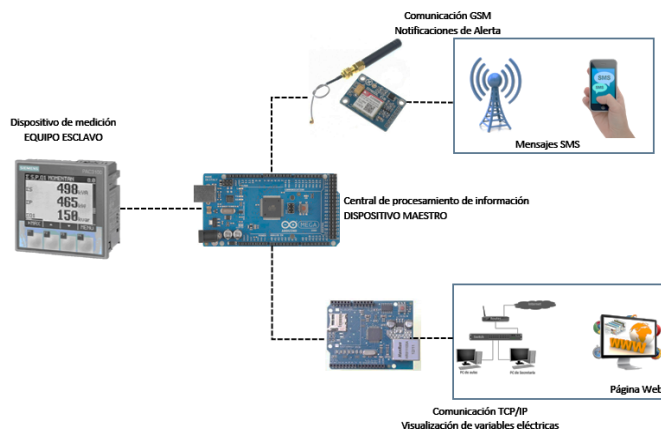


Figure 39. Diagram of the monitoring system

The entire system consists of the PAC 3100 meter as a slave, the central node as the master and the different

modules for both wireless communication (GSM module) and TCP / IP communication (Ethernet socket).

Slave Node (PAC 3100)

It is represented by the PAC 3100 digital low voltage meter (see figure 8), this device is used for probing the electrical variables of voltage, current and power of the electric phases presented by the electrical connection.



Figure 40. Slave device – PAC 3100

Diagram of connection of the meter and its components.

There are 2 types of connection for this measuring device, the 3P3W and the 3P4W. The connection made was based on the number of electrical phases present in the board, having a total of 3 phases and 1 neutral. By means of this data it is taken into account to make the connection 3P4W (3 phases-4 conductors). Additional is done place 3 current transformers (one for each phase) to obtain reading of this variable. Figure 9 shows the connection of all these components.

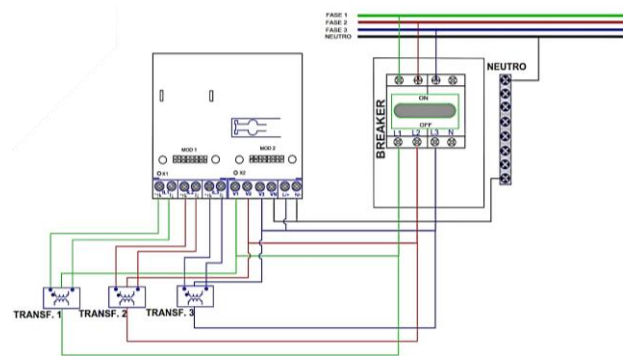


Figure 41. PAC 3100 connection diagram and its components.

Central processing node.

It is the central processing base of the monitoring system that is constituted by a mega arduino microcontroller that will generate a communication with the Siemens meter for the extraction of information, to establish a communication with the slave node it is necessary to use a MAX 485 integrated circuit between the slave and the teacher (see figure 10).

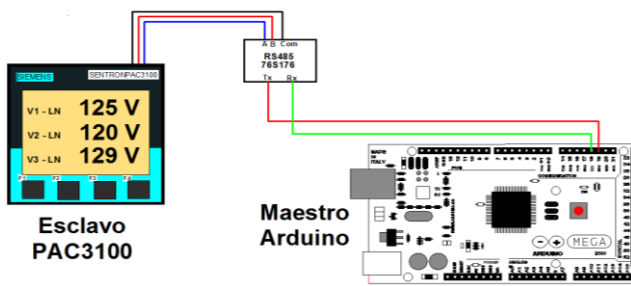


Figure 42. Connection diagram between master / slave

Extraction and conversion of information

At the moment of extracting the data between the master and the slave, a problem of interpretation of information was presented, so by means of the IEEE 754 conversion, this problem was solved. In the following flowchart, the process followed for the development of this conversion method.

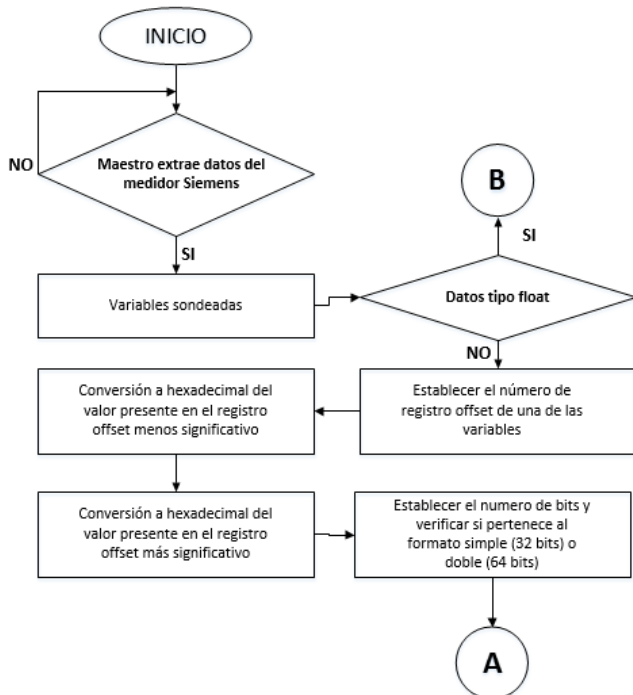


Figure 43. Extraction process and verification of the probed Information.

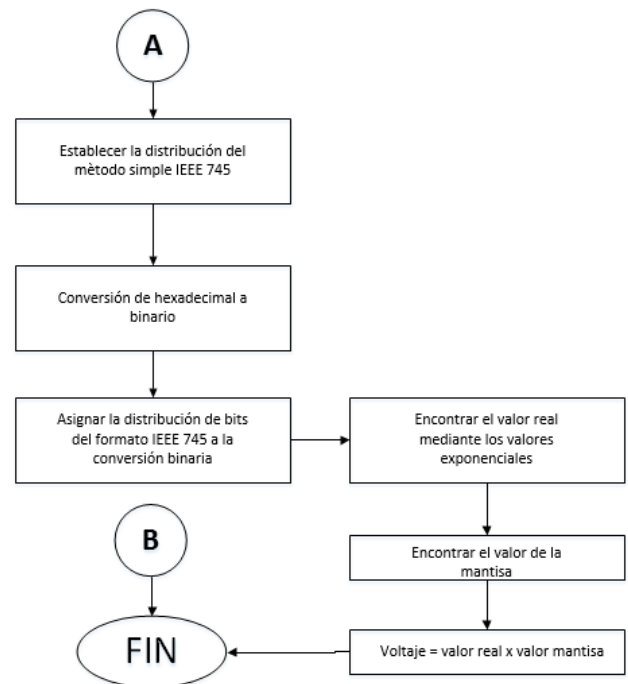


Figure 44. Process of conversion to the simple method IEEE 745

Taking into account the flow chart of Figure 12 which indicates the process of conversion of the IEEE method 745 that is taken into account to obtain a float type data, so we proceed to detail this procedure step by step.

Step 1: The offset registers of each of the electrical variables (voltage, current and power) presented by the Siemens module are established, for example in figure 13 it is shown that for the voltage L1 2 registers are determined to project their value by what is established from record # 1 and the second is the previous one, that is, record # 0.

Offset	Número de registros	Nombre	Formato	Unidad
1	2	Tensión L1-N	Float	V
3	2	Tensión L2-N	Float	V
5	2	Tensión L3-N	Float	V

Figure 45. Offset records of the voltage variable

Step 2: Establish the voltage values probed presented by each of the offset registers.

	Alias	00000
0		61997
1	Voltaje L1	17138
2		49152
3	Voltaje L2	17139
4		55312
5	Voltaje L3	17140
6		0

Figure 46. Values polled and located in each offset register

Step 3: Change from decimal format (native data) to hexadecimal

TABLE 3.
CONVERSIÓN FROM DECIMAL TO HEXADECIMAL

Offset	Decimal Value	Hexadecimal Value
0	17138	42 F2
1	61997	F2 2D

Step 4: This conversion contains 2 types of format, simple precision (32 bits) and double precision (64 bits). Therefore, the bits of the values sounded in hexadecimal format are added.

TABLE 4.
VERIFICATION OF TOTAL BITS OF VARIABLE VOLTAGE

Records (Offset)	1	0
Hex value	42 F2	F2 2D
# bytes	4	4
# bits	16	16
Total bits	32	

Once the data length has been established, the IEEE 754 simple precision format, which uses only 32 bits for the representation of a data, can be established.

For the simple precision when you want to write a real number 32 bits are used, of which 1 bit is distributed for the sign (s) of the number, 8 bits for the exponent or the real part and the remaining 23 bits for the mantissa (m) so the distribution is shown in figure 75 as follows:

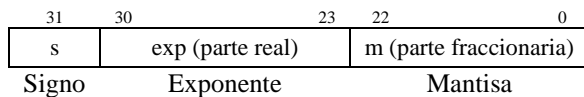


Figure 47. Bit distribution of the IEEE 754 simple method

Step 5: Conduct the binary conversion of the hexadecimal value obtained in table 4 and distribute with respect to figure 16.

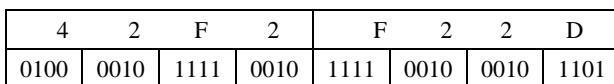


Figure 16. Conversion from base 16 to base 2

Step 6: Assign the distribution for sign, exponent and mantissa bits present in Figure 17.

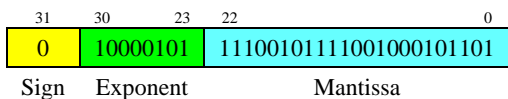
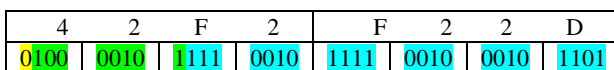


Figure 48. Bit distribution for the IEEE 745 format

Step 7: The real value is found by means of the exponential values, later the results of the exponential values are added where there is a logical 1, this is detailed in figure 18:

EXPONENT							
2^7	2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0
1	0	0	0	0	1	0	1
128	64	32	16	8	4	2	1

Figure 18. Bit distribution of the exponential part

$$\text{Exp} = 128 + 4 + 1$$

$$\text{Exp} = 133$$

$$\text{Real value} = 2^{\text{exp} - \text{exps}}$$

$$\text{Real value} = 2^{133 - 127}$$

$$\text{Real value} = 2^6 = \mathbf{64}$$

Where the value of exps is constant so it will always be 127.

Step 8: Obtain the value of the mantissa for which it is identified to the previous process but the change is that the scientific notation goes in descending form and later the values are added in which in the binary format it presents a logical 1, in the table 5 the process performed is detailed.

TABLE 5.
PROCESS OF OBTAINING THE VALUE OF MANTISA

MANTISA		
2^-1	1	0.5
2^-2	1	0.25
2^-3	1	0.125
2^-4	0	0.0625
2^-5	0	0.03125
2^-6	1	0.015625
2^-7	0	0.0078125
2^-8	1	0.00390625
2^-9	1	0.001953125
2^-10	1	0.0009765625
2^-11	1	0.0004882813
2^-12	0	0.0002441406
2^-12	0	0.0001220703
2^-14	1	0.0000610352
2^-15	0	0.0000305176
2^-16	0	0.0000152588
2^-17	0	0.0000076294
2^-18	1	0.0000038147
2^-19	0	0.0000019073
2^-20	1	0.0000009537
2^-21	1	0.0000004768
2^-22	0	0.0000002384
2^-23	1	1.19209290E-7

- **Mantisa** = $2^{-1} + 2^{-2} + 2^{-3} + 2^{-6} + 2^{-8} + 2^{-9} + 2^{-10} + 2^{-11} + (2^{-14} + 2^{-18} + 2^{-20} + 2^{-21} + 2^{-23})$

- **Mantisa** = $0.5 + 0.25 + 0.125 + 0.015625 + 0.00390625 + 0.001953125 + 0.0009765625 + 0.0004882813 + 0.0000610352 + 0.0000038147 + 0.0000009537 + 0.0000004768 + 1.19209290E-7$

- **Mantisa = 0,898015618**

The mantissa is stored in bits 1-23. An invisible advance bit (that is, it is not really stored) with the value 1.0 is placed in front, after the sum of the obtained mantissa that is to say that the final value of the mantissa is:

Mantisa = 1,898015618

Step 9: Finally, all results are grouped to interpret the result in a float value required by the meter to match measurement readings.

- Sign = 0 ---> The value will be positive
- Real value of the part of the exp= $2^6 = 64$
- Value of the mantisa = 1,898015618

Voltage L1 (float format) = Real value of the part of the exp= * Value of the mantisa

Voltage L1 = $64 * 1,898015618$

Voltage L1 = **121,472999552 [V]**

As can be seen by means of the 32-bit simple IEEE 754 precision method, the desired data type has been reached and this is the process for all the measurement values presented by the PAC 3100 device.

Ethernet Communication

To establish communication between the Modbus RTU network and a TCP / IP network it was necessary to use the W5100 Ethernet socket, it will be integrated with the Arduino microcontroller via the ICSP bus, thus working together.

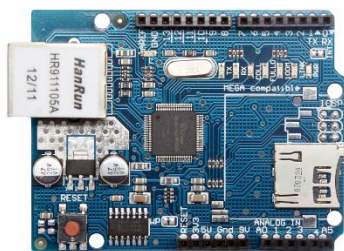


Figure 49. Shield Ethernet W5100

GSM mobile communication

To generate the SMS type notifications it was necessary to use the SIM 800L module, it has an antenna to make the link to a mobile tower, it will communicate with the arduino microcontroller through a UART communication which will control the actions that must be performed.

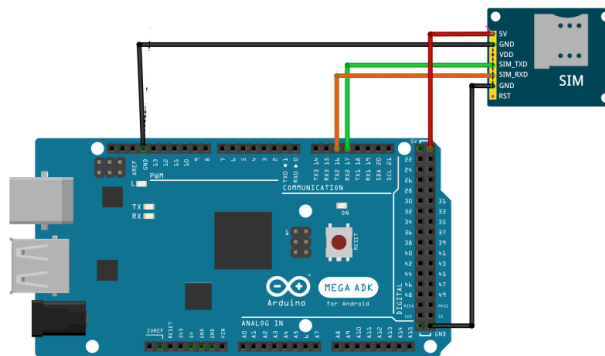


Figure 50. Communication between arduino microcontroller and SIM 800L

Working frequencies of the SIM 800L

The most efficient functionality of the SIM800L is its Quad-band capability, it works in all four bands for mobile communication (850, 900, 1800, 1900 MHz). In Ecuador, the 850 MHz bands are used for Claro, 1900 MHz for CNT, while 850 or 1900 MHz are used by Movistar in 3G networks.

System power supply

Because the monitoring system is being fed from the distribution board, it was necessary to place a backup power source because if a power cut were generated the monitoring system would not work. For the power supply of the system modules, a rechargeable dry battery of 12 [V] 4 [A] was selected taking into account the power supply characteristics of each component of the system.

TABLE 6. CONSUMPTION OF SYSTEM MODULES

Device	Current normal mode	Current – sleep mode
Mega arduino	170 [mA]	170 [mA]
Socket Ethernet		
Integrated circuit MAX 485	70 [mA]	70 [mA]
SIM 800L module	250 [mA]	70 [mA]
RTC module	25[mA]	25 [mA]

The backup time must be longer than 3 hours because that time is the longest energy cut present in the site where

the system is implemented. So the total capacity of the battery is:

$$C = V_{bat} * I_{bat} \quad (I)$$

$$C = 12 [V] * 4[A]h$$

$$C = 48 [W]h$$

The total consumption generated by the system according to table 6 is as follows:

$$C_{sist} = V_{bat} * I_{sist} \quad (II)$$

$$C_{sist} = 12 [V] * 0.515[A]$$

$$C_{sist} = 6.18[W]$$

It has a rechargeable dry battery of 12 [V] 4 [Ah], so the battery backup time will be:

$$Backup\ time = \frac{C_{bat}}{C_{sist}}$$

$$Backup\ time = \frac{48 [W]h}{6.18 [W]}$$

Backup time = 7.76 h approximately

In summary, the backup time with a battery of 12 [V] 4 [A] h is approximately 8 hours and 16 minutes, which satisfies the demand of 3 hours with no power that has been given, so that the selected battery satisfies the requirement for the system.

E. Software Design

The following flowchart shows the process of connecting and extracting information between the master node and the slave node.

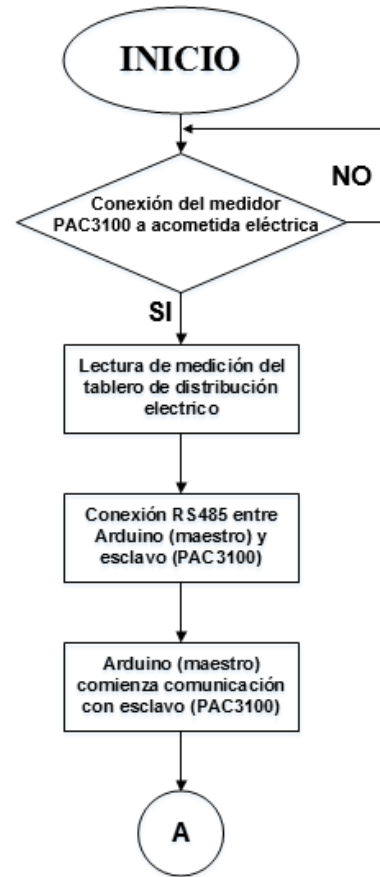


Figure 21. Flowchart of the communication process between Arduino microcontroller or Siemens meter

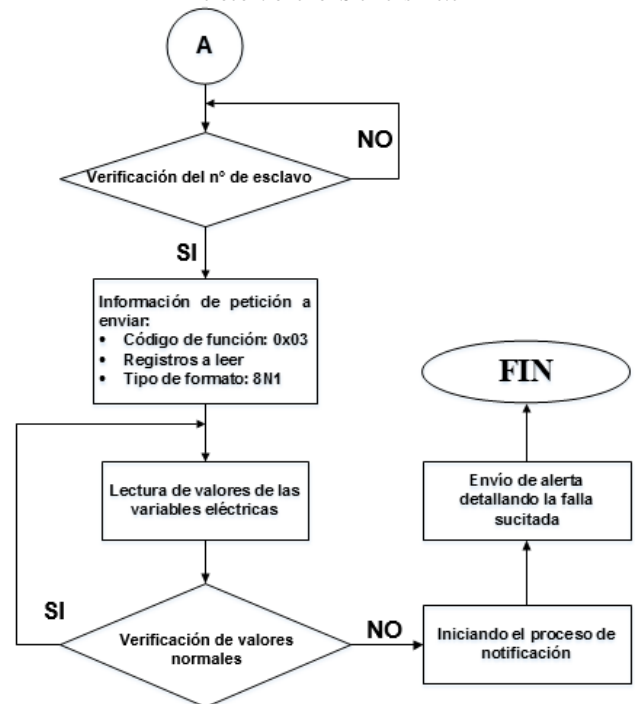


Figure 22. Flowchart of the information extraction process

Similarly, the process that the SIM module must perform in the generation of notifications is taken into account, this process is detailed in the following flow diagram:

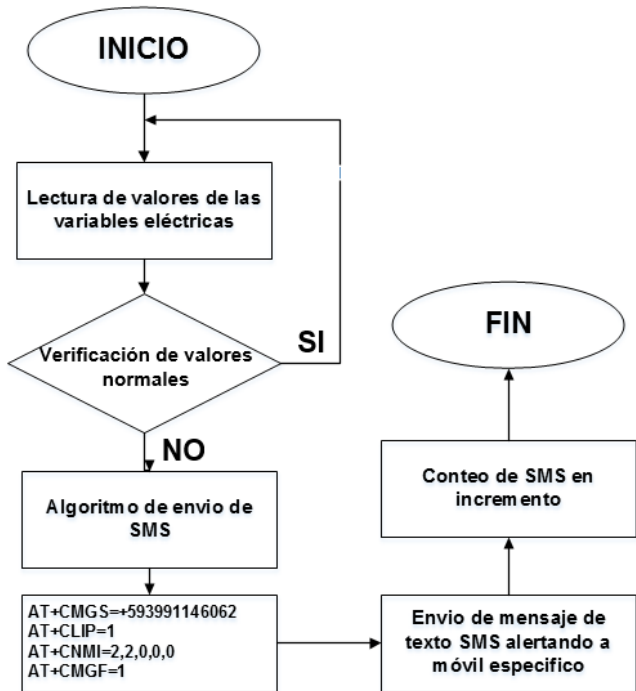


Figure 23. Flowchart of the SMS notification process

Web platform

For the project it was established the creation of a web page where the measurement readings of the electrical panel in real time are visualized, for what it was decided to create by programming HTML and to add it in the programming of the arduino thus leaving in the same processing system a web server that does not need external servers to access the information received.

IV. FUNCIONALITY TEST

For the tests it was necessary to implement a new electrical cabinet with all the necessary components, this was done in the data center located within the secretary of CIERCOM - CITEL. In fig. 24 the exact placement point is established (red box).

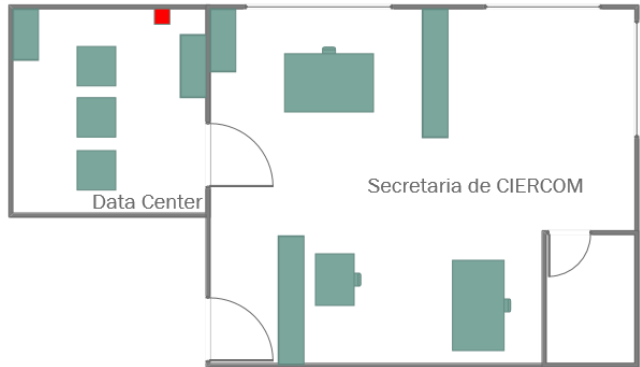


Figure 51. Location of the monitoring system



Figure 52. Slave node (PAC3100) in electrical cabinet



Figure 53. Master node of the system in electrical cabinet

B. Sensing test

On-site performance tests were carried out in which 2 electrical phases were left without power, which will produce a reading of 0 in these 2 phases, as shown in figure 27.



Figure 54. Reading of electrical variables with energy cut

Real time data

The master node (Arduino microcontroller) establishes permanent communication with the Siemens meter by extracting data probed every second to the slave. The information of lack of energy in two of the three phases is received in the master module.

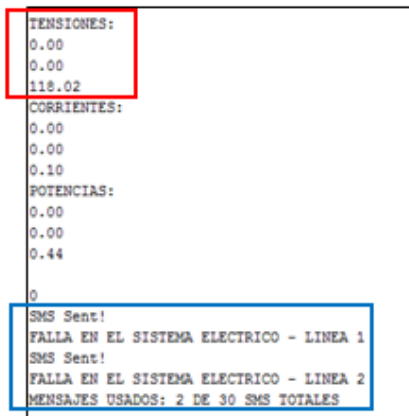


Figure 28. Reading of electrical variables with energy cut

Generation of notifications

At the moment of generating the electrical anomaly, the arduino microcontroller (master) goes to the SMS sending algorithm and will look for the mobile number of the assigned person, the GSM module will begin to make a connection to a 3G network and later send the message as shows in figure 29.

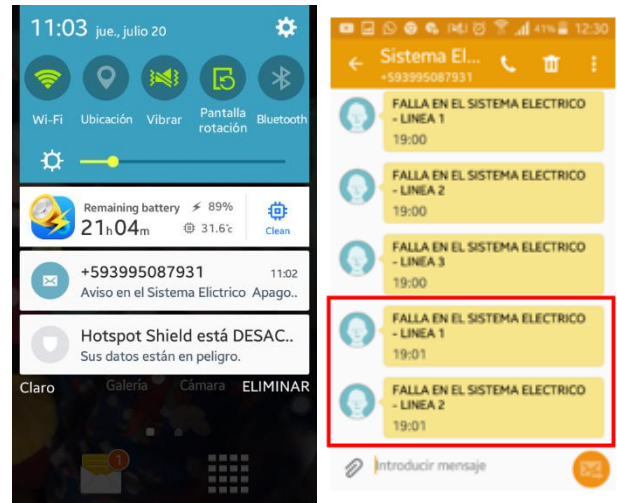


Figure 29. Notification of alerts via SMS

Reports Generation

Once there is an anomaly the system practically saves in a database (micro SD) located in the master, thus generating a list of reports establishing the date, time and the problem that has arisen, this process is shown in Figure 30. This information will be stored in a .txt file that is in the micro SD.

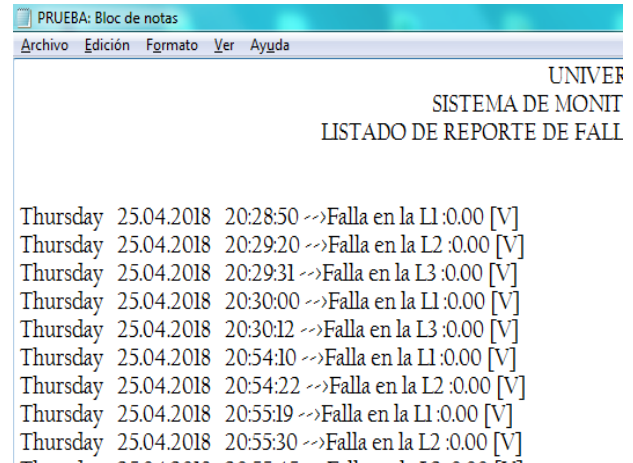



Figure 30. List of reports of electrical faults.

Data displayed via web

Through the programming carried out, a web page with HTML programming was implemented to capture the values received from each of the electric phases in real time as shown in figure 31. The page consists of a line of text specifying respectively each of the phases received and their value.

SISTEMA DE MONITOREO ELÉCTRICO
DATA CENTER - CIERCOM - FICA



Mediciones de variables realizadas al tablero de distribución eléctrico situado en el Data Center de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas (FICA) de la Universidad Técnica del Norte.

VARIABLES DE MEDICIÓN

MEDICIÓN DE VOLTAJES		MEDICIÓN DE CORRIENTES	
Volaje L1 - N	120.51 [V]	Corriente L1	0.00 [A]
Volaje L2 - N	120.51 [V]	Corriente L2	0.11 [A]
Volaje L3 - N	120.51 [V]	Corriente L3	0.00 [A]

MEDICIÓN DE POTENCIAS		MEDICIÓN DE FRECUENCIA Y FACTOR DE POTENCIA	
Potencia L1	0.00 [W]	Frecuencia Red Eléctrica	60
Potencia L2	6.66 [W]	Factor de Potencia	
Potencia L3	0.00 [W]		

Figure 31. List of reports of electrical faults.

Total diagram of the monitoring system

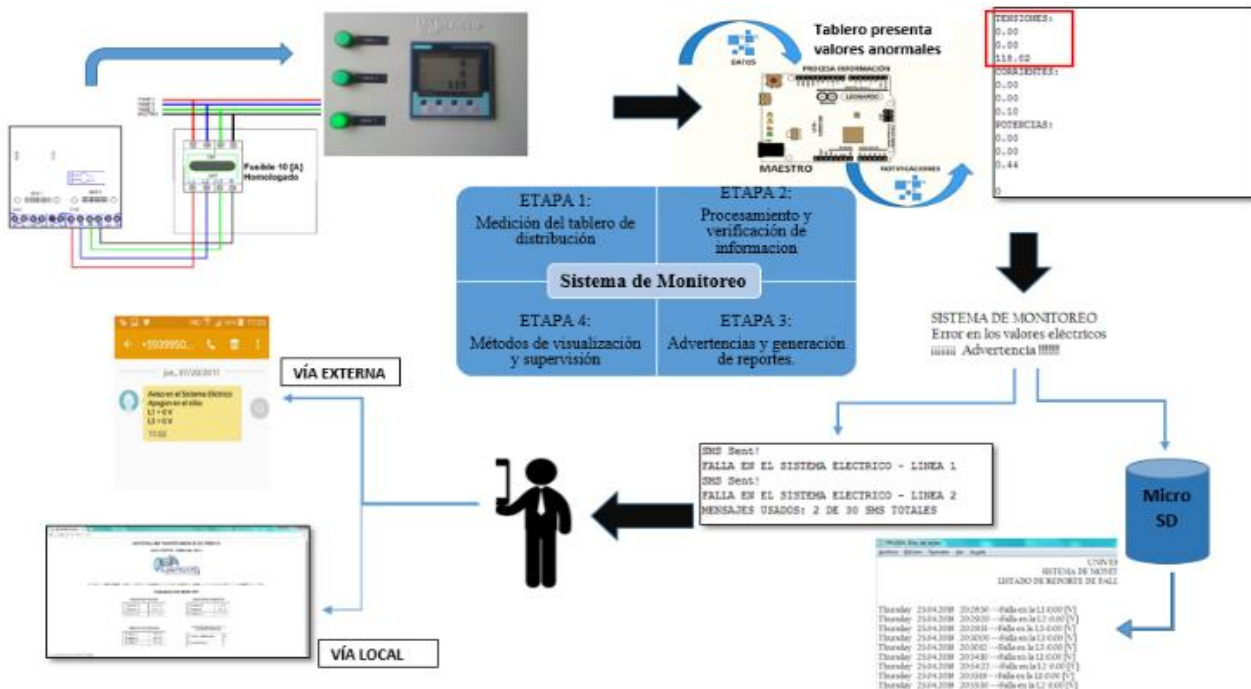


Figure 32. Total Diagram of the monitoring system

V. REFERENTIAL BUDGET

The monitoring system is made up of different components, modules and electronic devices which, with the integration of all these, a system was obtained that probes, notifies and visualizes anomalies in electrical environments, these are characteristics that identify other systems of different brands, in addition of presenting a low degree of complexity and with the option of scaling to complex levels. As can be seen in table 7, the implements used do not have a greater consistency, so building this system would not present a higher cost.

TABLE 7. CONSUMPTION OF SYSTEM MODULES

Elemento	Costo	Cantidad	Costo Total
PAC 3100	450.00	1	504.00
Transformadores de corriente	13,54	3	45,48
Gabinete BEAUCOUP	87,06	1	97,51
Platina Cobre	9,60	2	21,50
Arduino Mega	22,50	1	25,20
Socket Ethernet	12,50	1	14,00
Módulo GSM	12,50	1	14,00
Módulo RS485	4,20	1	4,70
Batería FAMMA 12 [V] 4 [A]	15,00	1	16,80
TOTAL			743.19

VI. CONCLUSIONS

- The communication between some equipment and embedded boards are not always compatible, this was proved between the digital Siemens meter and the arduino microcontroller, this caused an interpretation problem when extracting the information for not using the proprietary Powerconfig monitoring software, so that through the RS-485 circuit a communication is established with the meter and with the IEEE 745 conversion the problem is solved and thus a readable data extraction is obtained that coincides with the information provided by the digital meter instantaneously.
- The majority of monitoring systems for electrical applications are usually for on-site supervision, which is why various resources such as software, equipment and operators are involved, this is not our case, since the project is centralized and integrated only by modules with automatic functions monitoring. It can also be implemented on a large scale in different locations as it is scalable thanks to the RS-485 communication that supports up to 256 stations in the same physical medium depending on the configuration that is made which benefits the entity, thus achieving this solution of low complexity save on costs, time and resources for electrical monitoring.
- The reliability and availability of any system is essential at the moment of starting to operate, so backup batteries were included to give autonomy to the entire monitoring system, thus avoiding the interruption of the established functions.

Thanks.

To the university mansion and to my teachers of the faculty for all this time, thus offering knowledge to be a professional with criteria, ethical and humanistic that will serve me throughout my professional life.

Special thanks to my thesis tutor, Ing. Carlos Pupiales for the support provided, advice and suggestions for the development and completion of this project.

I thank Eng. Jaime Michilena as an advisor for providing his help and knowledge in the process of the subject of certification.

I also thank Eng. Fabián Cuzme as an advisor for providing his help and knowledge in the process of the subject of certification.

To my friends who are also an essential part of my university life, I also thank them for all the experiences we share together.

Bibliographic References

- [1] I. O. A. Rojas, «Redes Industriales,» de *Software para aplicaciones industriales*, Popayán, Universidad del Cauca, 2002, p. 198.
- [2] J. M. H. Torres, «Sistemas Industriales de Control,» Departamento de Electricidad-Electrónica. I.E.S. Himilce, Linares, 2009.
- [3] E. P. López, «Los sistemas SCADA en la automatización industrial,» Universidad de Costa Rica, Recinto Grecia, 2015.
- [4] N. Instruments, «Información Detallada sobre el Protocolo Modbus,» Publicaciones National Instruments, México, 2014.
- [5] F. A. C. Herfías, «Universidad de Alicante,» 11 Octubre 2011. [En línea]. Available: <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/18990/1/AA-p3.pdf>. [Último acceso: 12 Julio 2018].
- [6] WEG, «WEG,» Diciembre 2012. [En línea]. Available: <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-srw01-manual-de-la-comunicacion-modbus-rtu-10000521680-4.0x-manual-espanol.pdf>. [Último acceso: 14 Julio 2018].
- [7] D. Ingeniería, «Unitronics,» 1 Abril 2010. [En línea]. Available: http://www.side-automatizacion.com/es/system/files/suport/20.-comunicaciones_modbus_tcp_ip_0.pdf. [Último acceso: 15 Julio 2018].
- [8] J. Rinaldi, «RTA,» Octubre 2013. [En línea]. Available: <https://www.rtaautomation.com/technologies/modbus-tcpip/>. [Último acceso: 16 Julio 2018].
- [9] M. F. Torres, «DISEÑO DE UN SISTEMA SCADA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE UN PISO DE UNA EDIFICACIÓN, USANDO UNA TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS PARA LA EMPRESA M&B,» Ambato, 2007.

About the Authors.



J. John Jairo PEÑAFIEL ESPINOZA, was born in Quito-Ecuador on June 19, 1990. He completed his high school studies in several schools.

He began at the Catholic School "Juan Pablo II" for 2 years in Quito, then moved to live in the city of Ibarra where he began his secondary studies at the Colegio Fiscomisional "Juan Pablo II Sede Ibarra" for 1 year. Finally, he finished his studies at the University College "UTN" obtaining the Bachelor's degree in Mathematical Physics. He is currently completing his degree process to obtain a degree in Electronics and Communication Networks Engineering from the Universidad Técnica del Norte, Ibarra-Ecuador.

Carlos H. PUPIALES, Electronics and Telecommunications Engineer at the National Polytechnic School in 2010. In 2015 he received his Master of Telecommunications Engineering from the University of Melbourne - Australia. He currently holds the position of Professor at the Technical University of the North of the city of Ibarra.

Jaime R. MICHILENA, Electronics and Telecommunications Engineer at the National Polytechnic School in 2007. He is currently a professor of the Electronics and Communication Networks Engineering Career at the Technical University of the North. He obtains his Master's Degree in Communication Networks in the Pontifical Catholic University of Ecuador in 2016 Quito-Ecuador.

Fabián G. CUZME, Computer Systems Engineer, Technical University of Manabí - Ecuador in 2009. He is currently a professor in the Electronics Engineering and Communication Networks at the Technical University of the North, Ibarra - Ecuador, he obtained the Master in Networks of Communication at the Pontifical Catholic University of Ecuador, Quito - Ecuador in 2015.

